



Université de Provence, Aix-Marseille I  
29, rue Robert Schuman  
13621 Aix-en-Provence

## DEA "Structures et dynamiques spatiales"

---

### ETUDE DU SYSTEME PASTORAL DANS LA REGION SAHELIEENNE DE BARKEDJI (FERLO, SENEGAL) : OCCUPATION DE L'ESPACE PAR LES PASTEURS, EN RELATION AVEC LES RESSOURCES DU MILIEU ET LES CONTRAINTES SANITAIRES

---

**RAPHAËLLE PIN**



**Laboratoires d'accueil : ISRA-LNERV et CIRAD-EMVT**

**Directeur de recherche :** J.-L. BONNEFOY (UMR-Espace, Université Aix-Marseille I)

**Responsables de stage :** I. TOURE, R. LANCELOT (CIRAD)



ISRA-LNERV  
Route du Front de Terre  
BP 2057 Dakar-Hann  
Sénégal

CIRAD-EMVT  
Campus international de Baillarguet  
34032 MONTPELLIER, Cedex 1  
France



## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement les enseignants des différents modules que j'ai suivis pendant cette année de DEA et qui m'ont permis de découvrir ce qu'est réellement la géographie et comment utiliser au mieux les outils qu'elle met à la disposition des agents du développement. Je remercie l'Institut sénégalais de Recherches Agricoles qui m'a accueillie pendant ces six mois de stage à Dakar, ainsi que mes maîtres de stage, Renaud Lancelot et Ibra Touré, qui m'ont formée (parfois contre ma volonté...) aux outils statistiques et géographiques dont j'avais besoin. Enfin, je remercie Diam Sow pour ces 8 jours d'enquêtes et de découverte du Ferlo en saison sèche.

## LEXIQUE

**Arbovirose:** maladie infectieuse due à un virus transmis par piqûre d'arthropode et plus spécifiquement d'insectes (moustique, tique,...). Ex: dengue, fièvre jaune,...

**Bande spectrale :** espace spectral correspondant au domaine de sensibilité d'un capteur. En mode panchromatique, le capteur HRV de SPOT est sensible à une largeur de bande comprise entre 0.51 et 0.73 $\mu$ m de longueur d'onde constituant une bande spectrale.

**Ecologie vectorielle :** étude de la dynamique de population des vecteurs en fonction de données environnementales (climatiques, végétation, anthropisation,...).

**Nomades:** groupes de population mobiles pour lesquels l'élevage, auquel sont subordonnées toutes les autres activités économiques, constitue la base de l'existence.

**Pixel:** plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage.

**Signature spectrale:** ensemble de caractéristiques conditionnant l'interaction du rayonnement électromagnétique avec la matière, nécessaires et suffisantes pour identifier une surface déterminée.

**Transhumance:** déplacement saisonnier d'un troupeau en vue de rejoindre une zone où il pourra se nourrir, ou déplacement du même troupeau vers le lieu d'où il était parti.

**Zoonose:** maladie infectieuse ou parasitaire, qui se transmet naturellement des animaux vertébrés à l'homme et réciproquement. Ex: tuberculose, rage, brucellose...



## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>1- PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>9</b>
<b>2- MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>12</b>
2.1- ZONE D'ETUDE: .....	12
2.2- COLLECTE DES DONNEES.....	15
2.2.1- Acquisition des photographies aériennes et spatiales: .....	15
2.2.2- Réalisation des enquêtes: .....	15
2.3- TRAITEMENT DES DONNEES.....	16
2.3.1- Interprétation de l'image Landsat de Barkédji: .....	16
2.3.2- Intégration des données dans une base relationnelle:.....	18
2.3.3- Analyses statistique et spatiale des données: .....	18
<b>3- RESULTATS.....</b>	<b>21</b>
3.1- CARTE D'OCCUPATION DU SOL DE BARKEDJI .....	21
3.1.1- Typologie de la végétation ligneuse: .....	21
3.1.2- Classes d'occupation du sol:.....	22
3.2- ESTIMATION DU NOMBRE DE TROUPEAUX .....	23
3.2.1- Stratification de la zone:.....	23
3.2.2- Estimation du nombre de troupeaux en saison des pluies et en saison sèche:... 24	
3.3- OCCUPATION DE L'ESPACE PAR LES TROUPEAUX .....	24
3.3.1- Répartition sur les classes d'occupation du sol: .....	24
3.3.2- Répartition par rapport aux ressources: l'eau et le pâturage.....	26
3.3.3- Origine des troupeaux transhumant à Barkédji:.....	28
<b>4- DISCUSSION .....</b>	<b>29</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>34</b>



TABLE DES FIGURES

Figure 1. Schéma probable du cycle épidémiologique de la fièvre de la vallée du Rift dans le Ferlo (DIALLO 1995) ..... 10

Figure 2. Localisation de la zone d'étude (source: Atlas de l'Afrique, ed. Jaguar) ..... 12

Figure 3. Rehaussement linéaire du contraste (source CCT).....17

Figure 4. Surfaces des classes d'occupation du sol de Barkédji. .... 22

Figure 5. Stratification en fonction de la densité de troupeaux de bovins et de petits ruminants.23

Figure 6. Surface (km²) des strates forte et faible densité dans les échantillons ..... 23

Figure 7. Nombre de troupeaux estimé dans un rayon de 20km autour de Barkédji ..... 24

Figure 8. Densité des troupeaux de nuit (en nombre de troupeaux par km²) sur les différents types d'occupation du sol..... 25

Figure 9. Répartition des pâturages sur les types d'occupation du sol.....25

Figure 10. Caractéristiques des distances parc/point d'eau et parc/pâturage..... 26

Figure 11. Courbes des densités de probabilité des distances parc de nuit / point d'eau..... 27

Figure 12. Histogramme des distances parc de nuit / pâturage..... 27

## **INTRODUCTION**

La région de Barkédji et le Ferlo sont des zones sahéliennes, caractérisées par une alternance entre saison sèche (de novembre à juin) et saison pluvieuse ou hivernage (de juillet à octobre), qui contraint le système pastoral basé sur l'utilisation des ressources disponibles en eau et en pâturages. Jusqu'à l'ouverture du premier forage, en 1950, le Ferlo était considéré comme un désert en raison de la rareté des points d'eau permanents. La région n'était alors fréquentée que quatre à cinq mois par an par des pasteurs transhumants, profitant des mares temporaires disponibles en saison des pluies. L'aménagement de puits et de forages sur l'ensemble du Ferlo a bouleversé ces pratiques pastorales, en permettant la sédentarisation d'une partie des éleveurs; chaque forage a constitué ainsi une "aire de polarisation" où les campements se sont peu à peu fixés et où les villages se sont créés (LE HOUEROU 1988). Désormais, bien que le Ferlo soit toujours une destination privilégiée des transhumants en hivernage, nombreux sont les éleveurs qui choisissent de s'y installer de façon durable et de réduire ainsi leurs mouvements saisonniers.

Chez ces éleveurs sédentarisés, le campement peut être permanent ou être déplacé entre la saison des pluies et la saison sèche, en fonction de la proximité des points d'eau. En saison sèche, le campement est situé généralement à quelques kilomètres (une quinzaine au maximum) du forage, qui couvre les besoins quotidiens en eau. Le relais peut être assuré par des puits disséminés à la périphérie de la zone d'influence du forage, dont la capacité restreinte permet d'abreuver la famille et parfois les petits ruminants. Dans ce cas, seuls les bovins sont alors emmenés au forage. L'accès aux forages est réglementé et payant: leur exploitation en saison sèche constitue un poste de dépense important pour les éleveurs. Le bétail est laissé en divagation pendant la journée à la recherche de nourriture et parqué la nuit, la plupart du temps sur les parcelles de culture qui bénéficient ainsi de la fumure.

En saison des pluies, les pasteurs s'éloignent des forages et montent leurs campements à proximité d'une mare temporaire qui ravitaille hommes et bêtes en eau. Ces mares se remplissent dès les premières pluies de juillet puis s'assèchent progressivement, les plus grandes d'entre elles pouvant rester en eau jusqu'au mois de janvier. Deux raisons principales poussent les éleveurs à s'éloigner ainsi de leur campement de saison sèche et de leurs parcelles de culture: la gratuité des mares temporaires et l'accès aux pâturages les plus distants du forage, inexploitable en saison sèche. En outre, le déplacement du bétail prévient les éventuels conflits avec les paysans pendant les travaux des champs (WEICKER 1993). Il s'agit ici de mobilité restreinte, entre les campements de saison sèche et de saison humide, mais le principe d'utilisation des mares temporaires et des pâturages avoisinants peut être appliqué aux grands pasteurs transhumants,



originaires principalement des régions plus méridionales de Kaolack, Kaffrine et Tambacounda, qui viennent passer l'hivernage dans le Ferlo.

La mare temporaire est par conséquent une ressource majeure et l'élément central du système pastoral en saison des pluies. En revanche, l'installation des pasteurs et de leurs troupeaux à proximité des mares est à l'origine de différents problèmes sanitaires. Beaucoup de parasites ainsi que leurs hôtes intermédiaires sont inféodés à l'eau et les mares entourées de végétation constituent un milieu très favorable à leur pullulation. Des études menées dans le Ferlo ont ainsi montré l'existence de schistosomoses du bétail, transmises par des gastéropodes d'eau douce (DIAW, SEYE et al. 1998). Cette maladie est considérée par les éleveurs et les services vétérinaires comme la principale contrainte sanitaire en saison des pluies, occasionnant de lourdes pertes directes et indirectes, chez les ovins notamment. La prolifération des moustiques en saison pluvieuse permet la transmission de nombreuses arboviroses (Fièvre de la vallée du Rift, fièvre West Nile, maladie de Wesselsbron) (ZELLER, FONTENILLE et al. 1997; TRAORE-LAMIZANA, FONTENILLE et al. 2001). La santé animale représente d'ailleurs le principal poste de dépense des éleveurs en saison des pluies. En outre, beaucoup de ces maladies sont communes à l'homme et à l'animal et d'autres pathologies spécifiquement humaines sont également liées à l'eau des mares temporaires (paludisme, bilharziose).

Dans ce contexte, l'ISRA, le CIRAD, l'IRD, l'INRA, le CNES et les Universités de Dakar et de Saint-Louis se sont associés et mènent, en partenariat avec la Direction de l'Elevage, un projet de recherche visant à comprendre et à modéliser l'épidémiologie des maladies liées à l'exploitation des mares temporaires du Ferlo. L'objectif à terme est de proposer des mesures de gestion de l'espace pastoral pour réduire les risques sanitaires pour les populations et leurs troupeaux. Dans un premier temps, le projet Emercase<sup>1</sup> a travaillé à améliorer le système d'épidémiosurveillance de la fièvre de la vallée du Rift (FVR) et a commencé une étude de fond sur l'occupation de l'espace pastoral et ses facteurs de variation, ainsi que sur la dynamique des populations de vecteurs présumés de la FVR (différentes espèces de moustiques, en particulier *Aedes vexans* et *Culex poicilipes*). Ce projet va être poursuivi et étendu aux schistosomoses humaines et animales dans le cadre d'une nouvelle ACI du Ministère de la Recherche et d'autres réponses ont été faites à différents appels d'offres de financement de projets de recherche.

L'élaboration de modèles de simulation du fonctionnement de ce système complexe, qui met en relation les pasteurs, le bétail, les vecteurs et leur environnement, doit permettre de valider les connaissances épidémiologiques et de prédire le risque d'occurrence de la FVR en fonction d'indicateurs entomologiques et environnementaux. Le modèle pourra être utilisé pour

---

<sup>1</sup> Action Concertée Incitative du Ministère de la Recherche (Appel d'offre Télémédecine) bénéficiant de financements complémentaires de la Direction Générale de l'Armement et de la région Rhône-Alpes.



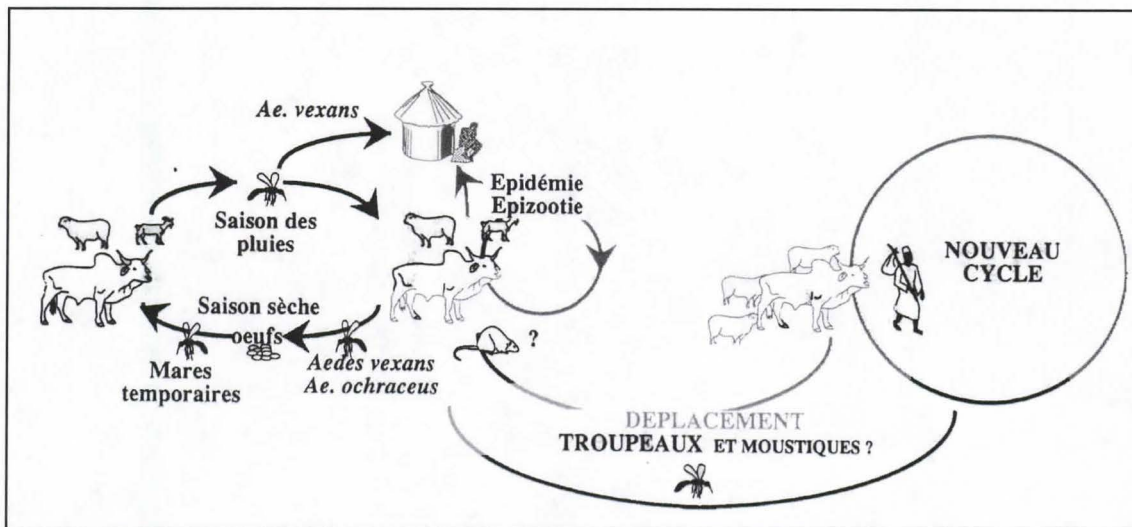
tester différents scénarii climatiques (successions d'années sèches ou humides), écologiques (impact d'aménagements hydro-agricoles) ou sanitaires (diffusion de la maladie en cas de déclenchement d'une épidémie, efficacité des mesures de lutte). L'intérêt de ces simulations est alors de cibler aux mieux les éléments sur lesquels il faut agir pour réduire le risque de transmission et d'adapter en conséquence les actions préventives (lutte anti-vectorielle, campagnes d'information, aménagement du territoire...) menées sur le terrain, dans la région du Ferlo. Dans une seconde phase du projet, les méthodes utilisées pour la FVR pourront être appliquées à l'étude des schistosomoses, pathologies également transmises par un vecteur se développant dans les mares temporaires.

## **1- PROBLEMATIQUE**

La FVR suscite l'intérêt des chercheurs depuis les vastes épidémies survenues en Egypte en 1977 (2000 cas cliniques humains dont 598 mortels), en Mauritanie (DIGOUTTE and PETERS 1989) et au Sénégal en 1987 (KSIAZEK, JOUAN et al. 1989) et plus récemment en Arabie Saoudite (CDC 2000). Jusque dans les années 1970, elle était considérée comme une zoonose bénigne pour l'homme et évoluant de façon périodique chez les ruminants, en particulier les moutons d'Afrique de l'Est, lors des années à forte saison des pluies. De nos jours, la gravité de cette pathologie tant pour les animaux que pour l'homme, ainsi que la complexité de son cycle épidémiologique en font un sujet d'étude prioritaire dans le domaine des maladies émergentes.

La FVR est due à un virus de la famille des Bunyaviridae et du genre *Phlebovirus*. Elle affecte de nombreuses espèces animales domestiques et sauvages. Chez les ruminants domestiques, on observe une augmentation du nombre d'avortements et une mortalité importante des ovins et caprins nouveau-nés. Chez l'homme, l'infection se manifeste généralement par une forme pseudo-grippale non compliquée. Cependant, dans 1% des cas, on peut rencontrer des formes méningo-encéphalitiques et ictéro-hémorragiques mortelles (LEFEVRE 1997). La FVR est une pathologie insidieuse, pouvant passer inaperçue pendant des périodes plus ou moins longues, se manifestant simplement par quelques avortements. Les épisodes épizoo-épidémiques sont rares et il est donc difficile de maintenir un état de surveillance à long terme. Ces raisons conduisent les services de santé publique et vétérinaire à raisonner en terme de gestion du risque, c'est à dire à mettre en place des outils de surveillance épidémiologiques et d'autres systèmes d'aide à la décision tels que les modèles prédictifs de l'occurrence de la maladie.

L'épidémiologie de la FVR s'explique par un cycle de transmission du virus complexe et multifactoriel, impliquant différentes espèces de vecteurs et différents modes de contagion (Figure 1). La transmission du virus aux ruminants domestiques est vectorielle, par l'intermédiaire de moustiques du genre *Aedes* ou *Culex*. L'homme peut être également infecté par les moustiques mais la modalité la plus fréquente est la contamination par manipulation de produits virémiques (avortons, viande...) (FONTENILLE, TRAORE-LAMIZANA et al. 1998; DIALLO 2000).



**Figure 1. Schéma probable du cycle épidémiologique de la fièvre de la vallée du Rift dans le Ferlo (DIALLO 1995)**

L'émergence de la FVR à un moment et en un lieu donnés résulte donc de la conjonction de facteurs favorisant la rencontre entre les vecteurs, le virus et ses hôtes. Elle dépend donc de la dynamique conjointe du peuplement humain et animal et de celle des moustiques, très liée à l'eau et à la végétation.

En zone pastorale sahélienne, l'aridité du climat en saison sèche et la conformation des puits et des forages, peu propices au développement des vecteurs, n'autorisent aucun contact entre ces derniers, leurs hôtes et les agents pathogènes. Par contre, en hivernage, les mares temporaires entourées de végétation, auxquelles les animaux se rendent tous les jours, constituent un excellent milieu pour l'émergence et la reproduction de *Culex* et *Aedes*: tous les éléments du cycle de transmission de la FVR sont alors réunis et le risque d'émergence et d'amplification est important.

L'objectif général des travaux menés au Sénégal est de proposer un modèle de prévision du risque d'occurrence de la FVR dans la région du Ferlo, de façon à pouvoir cibler les actions de prévention. Quatre questions de recherche sont abordées en parallèle par les membres de l'équipe pluridisciplinaire: l'écologie vectorielle, le contact hôte-vecteur, l'occupation de l'espace pastoral par les éleveurs et les troupeaux et enfin la mobilité animale.

La présente étude s'inscrit dans le troisième axe de recherche, qui comprend une problématique géographique marquée. Il s'agit de comprendre comment se structure l'espace et comment fonctionne le système pastoral, en relation avec les ressources et les contraintes de ce milieu particulier qu'est la zone sahélienne. En effet, "l'une des ressources primordiales pour le pasteur est constituée par l'espace, dans le sens de l'espace pastoral qui offre eau et pâturage comme base d'existence pour les troupeaux. Et c'est la mobilité dans l'espace, élément



*stratégique fondamental, qui permet l'utilisation et l'exploitation optimales de cet écosystème fragile; celle-ci varie considérablement dans l'espace et dans le temps (selon les endroits, au cours d'une même année et d'une année à l'autre)."* (TOURE, 1993).

Pour comprendre le fonctionnement du système pastoral dans la région du Ferlo, il est donc nécessaire de commencer par étudier le milieu dans lequel vivent les pasteurs et de caractériser en particulier les points d'eau et les pâturages. Cependant, le milieu n'est qu'un élément du système et de nombreux autres facteurs régissent l'occupation de l'espace par les éleveurs: règles sociales, contraintes sanitaires, traditions,... Tous ces éléments sont à prendre en compte pour déterminer les règles de décision de la répartition spatio-temporelle des pasteurs et de leurs troupeaux; cependant de telles recherches dépassent le cadre du travail présenté ici, qui se limite à une approche descriptive préliminaire du milieu géographique et humain.

En particulier, les questions auxquelles ce travail se propose de répondre sont:

- Comment se structure de la zone d'étude et quels sont les types d'occupation du sol?
- Comment varie la charge animale sur l'ensemble de la zone au cours de l'année?
- Quelle est la répartition spatiale des troupeaux aux différentes périodes de l'année, par rapport aux types d'occupation du sol et aux ressources disponibles?
- D'où viennent les éleveurs transhumant à Barkédji?

Ce travail devrait permettre par la suite la mise en place d'indicateurs de présence du bétail, qui seront intégrés dans les modèles de prévision de la FVR.

Les méthodes utilisées pour répondre à ces questions sont présentées dans la première partie de ce document, suivies des principaux résultats obtenus; ceux-ci sont ensuite discutés et critiqués dans une troisième partie.

## 2- MATERIELS ET METHODES

### 2.1- ZONE D'ETUDE:

La zone d'étude s'étend sur 1 680 km<sup>2</sup> autour de la ville de Barkédji, dans le Ferlo sénégalais (Figure 2). Elle appartient au département de Linguère, dans la région administrative de Louga et couvre la communauté rurale de Barkédji.

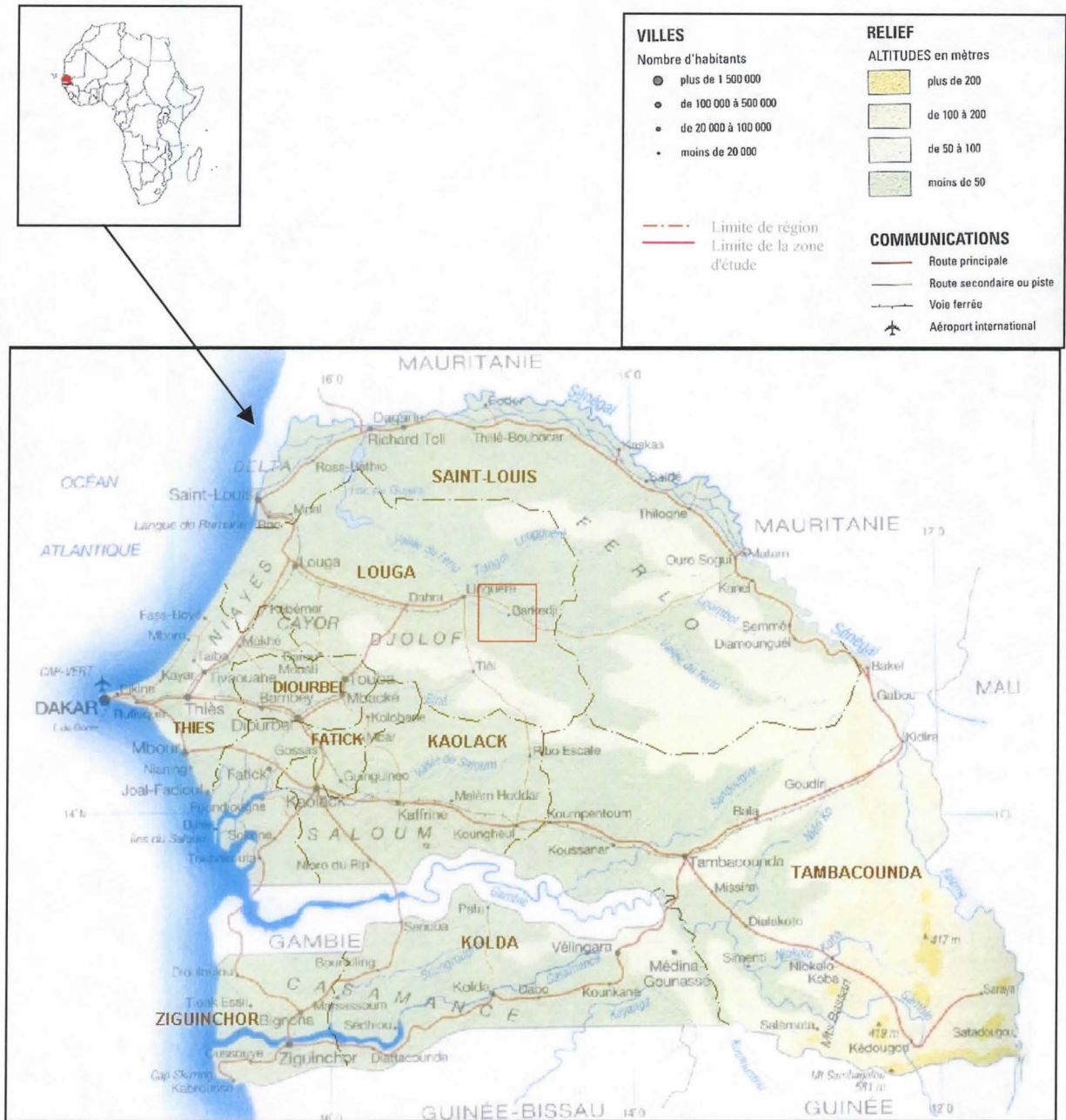


Figure 2. Localisation de la zone d'étude (source: Atlas de l'Afrique, ed. Jaguar)

Située entre les isohyètes 400 et 500 mm, elle appartient à la zone sahélienne, caractérisée par la prédominance de sols sableux sur lesquels se développe un tapis de graminées annuelles, parsemé d'arbustes et de petits arbres souvent épineux, microphylls et caducifoliés. Le climat de



type tropical sec est caractérisé par l'alternance entre une courte saison des pluies, d'intensité très variable d'une année à l'autre, et une longue saison sèche où la température atteint fréquemment 47-48°C. Le relief y est monotone, formé de dunes en partie aplanies ou stabilisées par la végétation. La zone est traversée par la vallée fossile du Ferlo et ses nombreuses ramifications, dans lesquelles se forment les mares temporaires dès le début de l'hivernage. Les points d'eau permanents se répartissent en six puits et six forages, creusés le long de la vallée. Le bétail élevé est essentiellement constitué de zébus de race Gobra ainsi que de petits ruminants, des ânes et des chevaux; les dromadaires, présents dans le Nord du Ferlo, sont rares autour de Barkédji (LE HOUEROU 1988).

La zone est peuplée majoritairement de pasteurs Peuls nomades ou sédentaires, pour qui l'élevage représente la base la plus importante, même s'il est complété en partie par la culture de produits vivriers. Les Peuls vivent dans des campements, regroupant 3 à 10 familles, souvent elles-mêmes unies par des liens de parenté. Chaque famille dispose d'une concession particulière, cependant la gestion du bétail est la plupart du temps commune: partage des parcs de nuit, constitution de troupeaux de jour,... Selon les cas, ces Peuls peuvent soit être complètement sédentarisés, comme les habitants des grands villages par exemple, soit transhumer en saison sèche, à une distance plus ou moins grande. Bien que l'agriculture assure une part non négligeable de leur subsistance, l'élevage est la raison de vivre des Peuls, la base de leur système de production. Le lait est destiné à l'autoconsommation, au troc (contre du mil en général) ou à la commercialisation. Les bêtes, quant à elles, ne sont jamais consommées par les éleveurs, sauf cas de force majeure; le troupeau constitue l'épargne du Peul, encore que celui-ci ne se sépare d'un de ses animaux que s'il a besoin de liquidités ou à l'occasion de mariages, baptêmes,... Ce système d'exploitation extensif est donc parfaitement adapté au milieu sahélien et à ses nombreuses contraintes.

Des agriculteurs *wolof* et *sereer* sont également présents autour de Barkédji. Les *wolof* basent leur système de production sur une forme d'agriculture extensive, avec une rotation annuelle de culture de mil et d'arachide, interrompue par une courte période de jachère; l'élevage se limite en général au petit bétail et n'est pas intégré au système d'exploitation. Chez les *sereer*, les cultures de subsistance priment sur la culture d'arachide et l'élevage est combiné à l'agriculture. Le troupeau sert à la fumure des parcelles, à l'approvisionnement en lait et fait également office de caisse d'épargne (WEICKER 1993).

Cette cohabitation entre pasteurs et agriculteurs, datant du milieu du siècle dernier, est source de nombreux conflits, que les autorités essaient tant bien que mal de gérer. En effet, traditionnellement, le bassin fossile du Ferlo est une zone à vocation pastorale et comprend l'une des plus importantes concentrations de Peuls de l'Afrique. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, la zone était



uniquement occupée par des nomades transhumants et le système agrosylvopastoral reposait sur l'exploitation des parcours forestiers, les cultures vivrières sous pluie et la cueillette forestière (BA 1989). Les premiers paysans *wolof*, chassés du Jolof par l'intensification de la culture de l'arachide et l'accroissement de la population, firent leur apparition dans le Ferlo dès 1950. L'aménagement de puits et de forages, initialement destinés aux pasteurs, agit également comme un facteur d'attraction pour ces agriculteurs, qui installèrent leur famille à proximité de ces points d'eau permanents. Pour freiner l'expansion de l'agriculture et préserver les aires pastorales, l'administration fit aménager des "réserves sylvo-pastorales" ou "forêts classées", dans lesquelles l'exploitation du bois et les cultures de rente sont interdites. Ces différents aménagements conduisirent les Peuls à modifier leur mode de vie et à se sédentariser. En outre, la sécheresse des années 1974-1975 fut l'occasion de déplacements inhabituels de nomades venus du nord qui s'implantèrent dans la zone. Enfin, depuis 1970, on assiste également à l'avancée d'un front pionnier de paysans mourides producteurs d'arachide, s'installant sans considération des parcours traditionnels des nomades (WEICKER 1993).

Soumise aux contraintes climatiques et aux conflits entre pasteurs et agriculteurs, la région de Barkédji est, comme l'ensemble du Ferlo, en équilibre instable et donc à la merci du moindre événement inattendu. Sa représentativité par rapport au système pastoral et à l'ensemble du Sahel sénégalais, ainsi que le grand nombre d'informations disponibles dans de nombreux domaines (géographie, sociologie, botanique,...), en font un lieu d'étude intéressant pour la problématique proposée, à savoir la description du milieu géographique et du milieu humain en zone pastorale. D'un point de vue méthodologique, le milieu géographique a été étudié par l'interprétation d'une image satellite, tandis que les informations relatives au peuplement humain et animal ont été relevées par des enquêtes de terrain, puis interprétées par l'intermédiaire d'outils statistiques et des Systèmes d'Information Géographiques.

## **2.2- COLLECTE DES DONNEES**

### **2.2.1- Acquisition des photographies aériennes et spatiales:**

La Société française de Photogrammétrie et de Télédétection définit cette dernière comme "l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets, par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci" (COMITAS 1988).

La description physique du milieu pastoral étant un des objets de la présente étude, l'utilisation de la télédétection semblait appropriée, d'autant plus dans un contexte de recherche-développement. En effet, les images fournies par les plates-formes de télédétection au domaine public autorisent désormais l'accès à des informations qui, il y a quelques années encore, auraient nécessité des investigations de terrain longues et fastidieuses. Ces propriétés sont particulièrement recherchées par les agents du développement, pour qui l'information nécessaire à la prise de décision doit être accessible rapidement et à moindre coût (BONN 1996).

Le projet a donc fait l'acquisition successivement d'une photographie aérienne de la zone de Barkédji, datant de 1980, puis de deux scènes (204-49 et 204-50) du capteur ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) du satellite Landsat 7, datant du mois de novembre 1999.

### **2.2.2- Réalisation des enquêtes:**

La description du milieu physique étant assurée par l'interprétation des images spatiales, l'objectif principal des enquêtes de terrain était de caractériser l'espace humain (BAUD, BOURGEAT et al. 1997). Des questionnaires ont donc été établis pour répondre au mieux aux différentes questions de recherche. Certains éléments "clés", structurant le système pastoral, devaient impérativement être décrits: le campement, le troupeau, le pâturage et la mare. Lors d'une première enquête en juin 2001, tous les campements situés dans un rayon de 20 km autour de Barkédji ont été visités et leur position relevée par GPS (Global Positionning System). A partir de ces données, sept échantillons de 5 km de rayon ont été choisis pour les enquêtes transversales. Les enquêteurs ont pu relever des informations précises et plus détaillées sur l'organisation du campement, les mouvements quotidiens et saisonniers des troupeaux, la caractérisation des mares et des pâturages ainsi que leur fréquentation par les animaux (Annexe 1). Les mêmes enquêtes ont été répétées trois fois en saison des pluies (juillet, août et octobre-novembre 2001) puis à nouveau une fois pendant la saison sèche chaude (juin 2002), de façon à décrire l'évolution de l'occupation de l'espace par les éleveurs et leurs troupeaux aux différentes périodes de l'année. Au cours de ces enquêtes, des données morphopédologiques et phytosociologiques nécessaires à l'interprétation de l'image satellite ont également été relevées, sur des sites choisis au hasard.



## 2.3- TRAITEMENT DES DONNEES

Le projet dispose donc d'une part de données aériennes et satellitaires et d'autre part de données de terrain, concernant la zone de Barkédji. Ces différentes informations ont été traitées en parallèle dans un premier temps, avant d'être rassemblées dans une base de données et un Système d'Information Géographique.

### **2.3.1- Interprétation de l'image Landsat de Barkédji:**

Les procédés actuels de classification d'image développent différentes approches, utilisant à la fois l'interprétation visuelle classique (ou photo-interprétation) et l'interprétation numérique, la première étant basée sur l'identification des objets composant l'espace et la deuxième sur l'étude des propriétés spectrales des pixels individuels. La complémentarité entre l'expérience de l'homme et l'objectivité de l'ordinateur garantit en effet des résultats plus fiables que l'une ou l'autre méthode utilisée seule. Partant de ce principe, la classification se divise en deux entités: la classification dirigée et la classification non-dirigée. La première implique que l'on tente d'identifier sur toute une image des spécificités de terrain déjà connues. C'est à partir de la réalité du terrain que l'on crée des sites d'entraînement, élément essentiel pour la création de la signature spectrale des thèmes retenus. Dans le cas de la classification non-dirigée, l'analyste tente d'interpréter les informations numériques de l'image selon une classification déterminée par l'ordinateur. Il configure les données sous forme de nuages de points qui déterminent en quelque sorte la signature spectrale des thèmes retenus. En conséquence, cette classification propose une image qui devra par la suite être confrontée à la réalité de terrain (DESJARDINS 2000). Le choix de la méthode de classification dépend donc des connaissances préalables de l'analyste sur les objets qui composent l'espace étudié.

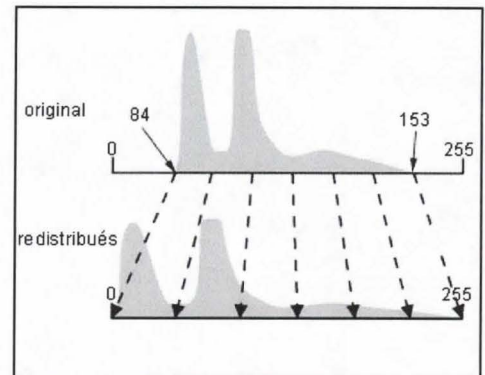
Dans le contexte du projet Emercase sur la FVR, un premier travail avait déjà été réalisé en 2001 à partir d'une photographie aérienne de la zone, prise en 1980. Cette première interprétation avait alors permis de faire une carte d'occupation du sol simplifiée, faute d'adéquation entre l'image et l'actualité du terrain. Il était donc nécessaire de mettre à jour cette carte d'occupation du sol à partir d'une image récente, en validant l'interprétation par des relevés de terrain. La méthode dite de "classification dirigée" a semblé être la plus adaptée, étant donnée l'expérience des analystes sur la zone de Barkédji et sur les paysages pastoraux sahéliens en général (BONN and ROCHON 1992).

Les scènes 204-49 et 204-50 du capteur ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) du satellite Landsat 7, recouvrant l'ensemble de la zone d'étude et datant du mois de novembre 1999, ont donc été commandées par le projet. La zone d'étude, de 41 km de côté, a été extraite à partir des deux scènes raccordées. Le capteur ETM+ possède 8 bandes spectrales, cependant



l'emploi de telle ou telle bande dépend avant tout de la nature des objets que l'on souhaite identifier (C.C.T. 1998). Pour Barkédji, les éléments à détecter étant les sols, les cultures, la végétation et les points d'eau, 5 bandes spectrales seulement ont été utilisées: les bandes 2 et 3 dans le visible, les bandes 4 et 7 dans l'infra-rouge et la bande 8 panchromatique. La résolution spatiale du capteur ETM+ est de 30m, à l'exception de la bande panchromatique dont la tache élémentaire fait 15m de côté.

Les différents traitements présentés ci-après ont tous été faits par le logiciel IDRISI® 3.2. La première étape du traitement numérique de ce type d'images est la combinaison des données panchromatiques à résolution spatiale fine avec les données multispectrales des bandes 2, 3, 4 et 7 (ICKOWICZ, DE WISPELAERE et al. 1999), suivie des corrections géométriques classiques (méthode polynomiale) et d'un rehaussement linéaire du contraste. Ce dernier a pour but d'améliorer la qualité visuelle des images acquises, en étalant les niveaux de gris sur les 256 valeurs disponibles (DESJARDINS 2000) (Figure 3).



**Figure 3. Rehaussement linéaire du contraste (source CCT).**

La création de compositions colorées additives "vraies couleurs" et "fausses couleurs" permet également d'offrir au photo-interprète, dont les capacités visuelles sont limitées, une forme de synthèse de l'information. Certains éléments du paysage sont plus ou moins mis en valeurs par les différentes compositions colorées, comme par exemple les sols et la végétation dans les compositions avec les canaux infra-rouge.

Ces différents traitements sont destinés à favoriser l'interprétation et la classification de l'image. L'objectif de la classification est d'obtenir une image segmentée comportant des classes; l'hypothèse qui sous-tend cette interprétation est qu'une plage homogène identifiée sur l'image correspond à un type d'objet sur le terrain. Le travail de l'interprète est d'associer une signification thématique à ces classes identifiées sur les compositions colorées (BAKIS and BONIN 2000). La méthode de classification dirigée repose sur l'établissement par l'analyste de classes de référence associées à des interprétations thématiques. Pour ce faire, l'interprète tente d'identifier sur l'image des spécificités de terrain déjà connues (comme des types d'occupation du sol, par exemple), qu'il rassemble en unités thématiquement homogènes; les hypothèses de correspondance entre les classes d'objet repérées et le paysage sont ensuite validées par des relevés de reconnaissance. C'est donc à partir de la réalité de terrain que sont établies les signatures spectrales des thèmes retenus pour la classification automatique, faite par la méthode

du maximum de vraisemblance. L'image ainsi interprétée est ensuite validée par le calcul d'une matrice d'erreurs, puis lissée afin d'atténuer les détails et les hétérogénéités locales.

Pour Barkédji, le renseignement des différentes classes d'occupation du sol a été enrichi par une typologie des paysages (DE WISPELAERE 2001), réalisée à partir des relevés pédologiques, topographiques et phytosociologiques effectués sur l'ensemble de la zone (Annexe 2). Les données phytosociologiques quantitatives (Annexe 3) ont été traitées sous ADE-4 par analyse des correspondances et classification ascendante hiérarchique (LEBART, MORINEAU et al. 1982; ESCOFIER and PAGES 1990); les résultats et leur interprétation ont été validés par des botanistes et des pastoralistes, puis intégrés dans la légende de la carte d'occupation du sol. Les cultures, les pistes, le réseau hydrographique fossile ainsi que les escarpements ont été digitalisés à partir d'une interprétation visuelle de l'image.

La carte d'occupation du sol ainsi renseignée fournit des informations précieuses sur le milieu physique autour de Barkédji. Exportée vers un Système d'Information Géographique, elle peut être mise en relation avec les diverses informations thématiques et spatialisées issues des enquêtes de terrain.

### **2.3.2- Intégration des données dans une base relationnelle:**

Après formalisation du modèle conceptuel de données par la méthode E/R (Entité/Relation) et du modèle logique de données, les données issues des enquêtes de terrain avaient été saisies dans le Système de Gestion de Bases de Données Access<sup>®</sup> (PANTAZIS and DONNAY 1996). La carte d'occupation du sol ainsi que les données spatialisées ont été intégrées dans le Système d'Information Géographique MapInfo<sup>®</sup>, lui-même relié au SGBD par un lien ODBC (Open Database Connectivity).

### **2.3.3- Analyses statistique et spatiale des données:**

#### **2.3.3.1- A l'échelle du campement: estimation du nombre de troupeaux**

Les ruminants domestiques étant les hôtes privilégiés du virus de la FVR, la première question posée concerne le nombre de troupeaux présents dans la zone d'étude aux différentes périodes de l'année. Face à l'impossibilité logistique de recenser les troupeaux de manière exhaustive, un échantillonnage a été réalisé. Sept cercles de 5 km de diamètre ont été positionnées au hasard sur la zone d'étude et enquêtés en hivernage et en saison sèche. Les positions des campements ainsi que le nombre de troupeaux ont été relevés dans les échantillons à cinq dates différentes. Le nombre de troupeaux étant très variable dans l'espace, une stratification a été réalisée en se basant sur le recensement exhaustif de juin 2001, de manière à obtenir des estimateurs fiables sur l'ensemble de la zone.



### Méthode de stratification:

La répartition des campements et des troupeaux est conditionnée par le milieu et donc très hétérogène: les grandes aires dépourvues de points d'eau et de pâturages présentent une densité de campements et de troupeaux faible, à l'inverse des zones de bas-fonds humides qui sont densément peuplées en toute saison. Il a donc été décidé de stratifier en fonction de la densité de troupeaux, bovins et petits ruminants confondus, en juin 2001. Sous S-Plus<sup>®</sup>, les campements ont été positionnés et la variable "nombre de troupeaux" attribuée à chaque campement. Les points situés hors de la zone d'enquête exhaustive n'ont pas été pris en compte. La densité en tout point de la zone a été estimée par la méthode de Kernel (VENABLES and RIPLEY 1994; ARNAUD 1998; KALUZNY, VEGA et al. 1998) et le seuil entre faible et haute densité fixé à 0.4 troupeaux/ km<sup>2</sup> (Annexe 4).

### Estimation des densités moyennes par strate et par saison:

En croisant la couche des sept échantillons et la couche de stratification on obtient 14 polygones, dans lesquels les campements ont été projetés, pour les 5 périodes d'enquêtes. En fonction de la surface de chaque polygone et de la variable attributaire "nombre de troupeaux", il est possible de calculer simplement les densités de troupeaux par échantillon, par strate et par saison. Puis, en posant l'hypothèse que la densité de troupeaux suit une loi de Poisson, le nombre de troupeaux présents dans la zone aux différentes saisons et dans chaque strate ont pu être estimés avec le logiciel R<sup>®</sup>.

#### **2.3.3.2- A l'échelle du troupeau: répartition par rapport aux ressources**

L'étude de l'occupation de l'espace par les animaux impose de choisir une unité adéquate. Le troupeau de bovins ou de petits ruminants semble être *a priori* l'unité épidémiologique la plus intéressante à étudier dans une optique de modélisation de la FVR, puisque les ruminants sont les hôtes privilégiés du virus. En outre, les croyances peules interdisant de dénombrer les animaux, il est impossible de se baser sur une unité individuelle "bovin" ou "petit ruminant". Le choix d'une telle unité épidémiologique comporte cependant deux inconvénients majeurs D'une part, le "troupeau", systématiquement en mouvement, ne peut pas être géoréférencé. D'autre part, la très grande variabilité de l'effectif par troupeau entraîne une hétérogénéité en terme de risque de transmission de FVR: deux troupeaux de 20 et 2000 têtes n'auront pas le même impact épidémiologique.

L'unité finalement retenue est le parc de nuit, lieu de rassemblement des ruminants en fin de journée. En effet, les parcs peuvent être positionnés par GPS, sont de taille homogène et accueillent donc à peu près le même nombre d'animaux. Généralement, un troupeau passe la nuit



dans un même parc en périphérie du campement, cependant les grands troupeaux peuvent être divisés en sous-groupes, chacun occupant un parc. L'unité "troupeau de nuit", correspondant à un parc de nuit occupé par un troupeau entier ou divisé, semble donc résoudre les problèmes de référencement et d'hétérogénéité. Par la suite, les acceptions "troupeau de nuit" ou "parc de nuit" seront employées indifféremment.

#### Localisation des troupeaux de nuit et des pâturages exploités en fonction de l'occupation du sol:

Le Système d'Information Géographique MapInfo® permet d'effectuer des requêtes entre différentes couches d'objets spatialisés, caractérisés par des variables thématiques attributaires. Ces requêtes, basées sur le langage SQL, utilisent des opérateurs spatiaux métriques ou topologiques (ROBIN 1995), intégrant la localisation des objets comme une variable à part entière. Il est alors possible de sélectionner des objets sur des critères d'appartenance, d'intersection, de position ou de distance par rapport à d'autres objets. C'est ainsi qu'ont pu être calculés les effectifs de troupeaux de nuit par type d'occupation du sol, en croisant les couches d'objets ponctuels "troupeaux de nuit" avec la couche de polygones d'occupation du sol de Barkédji. Les mêmes calculs ont été faits avec les pâturages exploités.

#### Localisation des troupeaux de nuit par rapport aux ressources en eau et en pâturages:

Dans un premier temps, les différents éléments du système pastoral, c'est à dire les campements, les parcs de nuit et les ressources exploitées ont été projetés aux différentes périodes dans le SIG MapInfo®.

La distance du parc de nuit au pâturage exploité a été évaluée par les éleveurs lors de l'enquête, tandis que la distance au point d'eau a été déterminée par l'intermédiaire du SIG, en rassemblant dans une table les coordonnées géographiques des parcs et celles des points d'eau exploités. Les histogrammes des distances au pâturage et les courbes de densité de probabilité des distances au point d'eau ont été tracés sous S-plus® et les moyennes ont été comparées saison par saison (test de comparaison de deux moyennes sur grands échantillons).

#### **2.3.3.3- A l'échelle nationale: étude des mouvements de transhumance**

La communauté rurale d'origine de chaque troupeau transhumant enquêté a été relevée. En liant cette table avec la couche géoréférencée des communautés rurales du Sénégal, il est possible de calculer puis de représenter le nombre de troupeaux originaires de chaque communauté rurale, aux différentes saisons.

### **3- RESULTATS**

#### **3.1- CARTE D'OCCUPATION DU SOL DE BARKEDJI**

##### **3.1.1- Typologie de la végétation ligneuse:**

L'analyse multivariée des relevés de terrain de juillet à octobre 2001 a divisé le paysage pastoral en cinq types, caractérisés par le regroupement d'espèces végétales ligneuses, le substrat, l'emprise agricole et la pression pastorale:

- Groupe 1 (34 sites): le "*Seno*"

Steppe arbustive sur dune et inter-dune (substrat sableux), dominée par les espèces soudaniennes *Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Sclerocarya birrea*. Cette formation est propice à l'agriculture et offre une productivité fourragère élevée. Elle est cependant sensible à la sécheresse et au surpâturage.

- Groupe 2 (13 sites): le "*Baldiol*"

Steppe arborée des dépressions hydromorphes, à substrat argilo-sableux, caractérisée par *Acacia seyal*, *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*. La pression pastorale y est importante en saison des pluies et l'emprise agricole relativement faible.

- Groupe 3 (7 sites): le "*Sangaré*"

Steppe sur affleurement de cuirasse latéritique, dominée par *Pterocarpus lucens*, *Sterculia setigera*, *Commiphora africana*, *Grewia bicolor*. Le potentiel agricole et fourrager de ce type de formation est faible en toute saison.

- Groupe 4 (3 sites):

Caractérisé par la présence d'espèces sahéliennes croissant sur substrat argilo-sableux, en particulier *Acacia senegal* et *Acacia raddiana*. Ce type de parcours sur modelé dunaire est soumis à une pression pastorale importante.

- Groupe 5 (11 sites):

Ce groupe, mal représenté sur les axes factoriels, comprend les espèces ubiquistes du milieu sahélien: *Balanites aegyptiaca* et *Boscia senegalensis*. Le substrat est sablo-argileux, l'emprise agricole faible et la pression pastorale moyenne.

Les types 1, 2 et 3 sont bien représentés dans la zone d'étude et composent des paysages aisément identifiables sur le terrain d'une part et sur une image satellitaire d'autre part. Une telle typologie permet donc de renseigner les unités thématiques correspondantes, identifiées sur l'image.



**3.1.2- Classes d'occupation du sol:**

L'interprétation par classification supervisée de l'image Landsat de Barkédji a conduit à l'identification de six classes d'occupation du sol:

- 1- Steppe arbustive dégradée sur plaine sablo-argileuse
- 2- Steppe arbustive sur plaine sablo-argileuse à *B. aegyptiaca*, *G. senegalensis*, *C. glutinosum*, *S. birrea*.
- 3- Steppe arbustive sur plateau gravillonnaire à *P. lucens*, *S. setigera*, *C. africana*, *G. bicolor*
- 4- Steppe arborée des bas-fonds argilo-sableux à *B. aegyptiaca*, *A. seyal*, *A. digitata*
- 5- Zone cultivée ou en jachère
- 6- Mare en eau

La carte d'occupation des sols en format A3 est annexée à la fin de ce document.

La zone de Barkédji est principalement occupée par trois classes. Les zones de bas-fonds suivent la vallée fossile du Ferlo et ses ramifications selon un axe nord-ouest / sud-est, tandis que le reste de la zone est couvert par des paysages de dunes (au nord-ouest et au sud-est) ou d'affleurements gravillonnaires (au nord-est et au sud-ouest) (Figure 4).

Classe	Description	Surface (km²)	Pourcentage
1	steppe arbustive dégradée	140.1	8.3
2	steppe arbustive sur plaine sablo-argileuse	478.6	28.4
3	steppe arbustive sur affleurement gravillonnaire	497.8	29.6
4	steppe arborée des bas-fonds argilo-sableux	550.9	32.7
5	zone cultivée ou en jachère	13.4	0.8
6	mare en eau	2.5	0.2

**Figure 4. Surfaces des classes d'occupation du sol de Barkédji.**

Les cultures ou les jachères sont peu importantes et situées autour des forages de Sammali et Touba Linguere. Les grandes mares sont alignées le long de la vallée du Ferlo, dans les dépressions, de même que les puits et les forages.



3.2- ESTIMATION DU NOMBRE DE TROUPEAUX

3.2.1- Stratification de la zone:

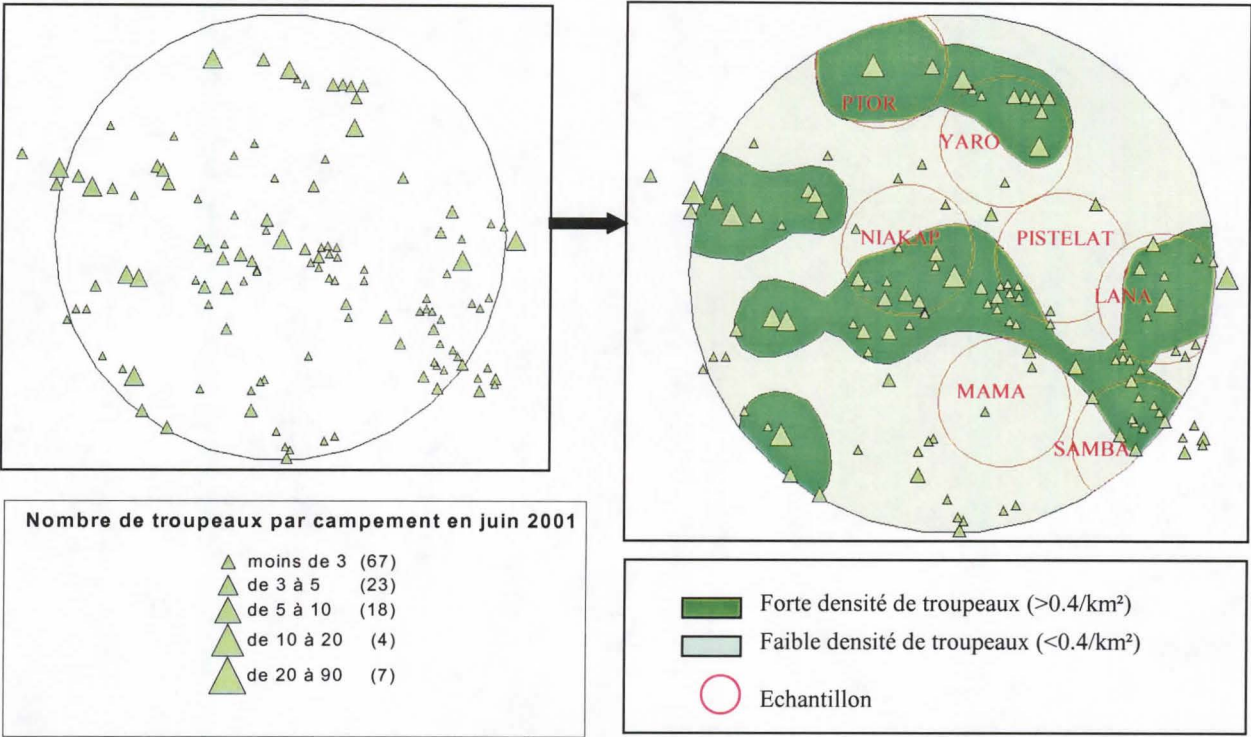


Figure 5. Stratification en fonction de la densité de troupeaux de bovins et de petits ruminants.

La stratification étant basée sur le recensement exhaustif de juin 2001, la zone sur laquelle le nombre de troupeaux sera estimée est le cercle de 20 km centré sur Barkédji. Les strates "forte densité" (vert foncé) et "faible densité" (vert clair) couvrent respectivement des surfaces de 480 km² et 767 km² (Figure 5). La superposition de la couche des strates avec la carte d'occupation des sols montre que la strate "forte densité" correspond plus ou moins à la zone des bas-fonds et la strate "faible densité" à la zone hors bas-fonds. Les surfaces en km² des 14 polygones issus du croisement entre les échantillons et les strates sont présentées à la figure 6.

	HD (forte densité)	LD (faible densité)
PTOR	61.7	2.8
YARO	39.1	38.8
NIAKAP	45.3	32.7
PISTELAT	8.4	63.4
LANA	55.3	17.1
MAMA	1.6	76.4
SAMBA	24.3	19.1

Figure 6. Surface (km²) des strates forte et faible densité dans les échantillons

Connaissant le nombre de troupeaux dans chacun des 14 polygones, la surface de chaque polygone ainsi que la surface totale de chaque strate, il est possible d'estimer le nombre de troupeaux sur l'ensemble de la zone.

**3.2.2- Estimation du nombre de troupeaux en saison des pluies et en saison sèche:**

Le nombre de troupeaux par campement a été relevé dans chaque échantillon aux périodes suivantes: juillet 2001, août 2001, octobre-novembre 2001 et juin 2002. En 2001, ces dates correspondaient respectivement au début, milieu et fin de saison des pluies, le mois de juin 2002 étant situé en pleine saison sèche chaude. L'estimation du nombre de troupeaux dans chaque strate aux différentes saisons permet de voir l'évolution de la répartition du bétail (Figure 7).

Saison	Strate*	Nbre de trpx estimé	Ratio HD/LD	Total (HD+LD)	Erreur standard
juil-01	HD	442	2,9	596	30,1
	LD	154			21,8
août-01	HD	706	1,4	1199	38,0
	LD	493			38,7
oct-nov-01	HD	712	2,5	992	38,2
	LD	280			29,4
juin-02	HD	528	8,2	593	32,9
	LD	65			14,0

\* HD = forte densité, LD = faible densité

**Figure 7. Nombre de troupeaux estimé dans un rayon de 20km autour de Barkédji**

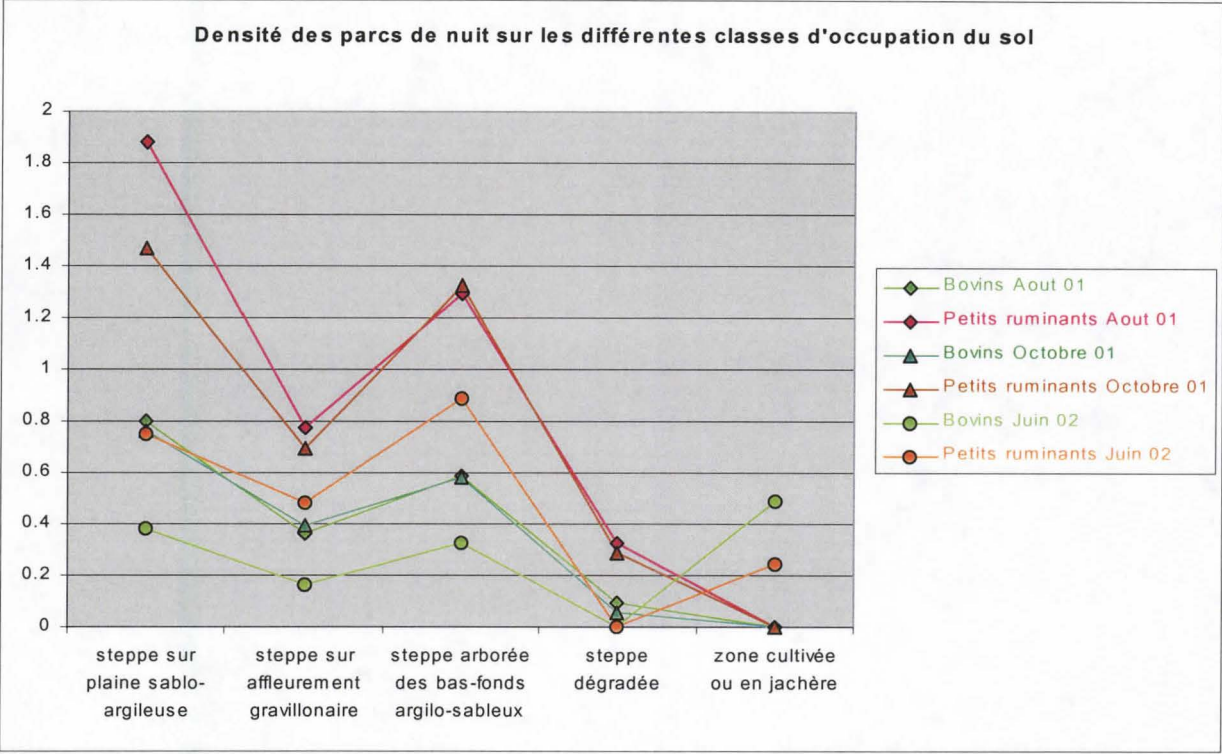
En juin et en juillet, le nombre de troupeaux est à peu près identique; il augmente pendant la saison des pluies, est maximal en août, avant de décroître peu à peu. A l'inverse, le ratio entre la strate forte densité et la strate faible densité est maximal en juin et minimal en août. La strate HD correspondant aux bas-fonds, le ratio HD/LD donne une idée de la répartition des troupeaux entre ces bas-fonds et les autres types d'occupation du sol.

**3.3- OCCUPATION DE L'ESPACE PAR LES TROUPEAUX**

**3.3.1- Répartition sur les classes d'occupation du sol:**

Le croisement des couches ponctuelles contenant les parcs de nuit aux différentes périodes avec la couche d'occupation du sol a permis de déterminer quels types de paysages sont préférés par les éleveurs. Les densités de parcs de nuit sur chaque type d'occupation du sol sont présentées à la figure 8.

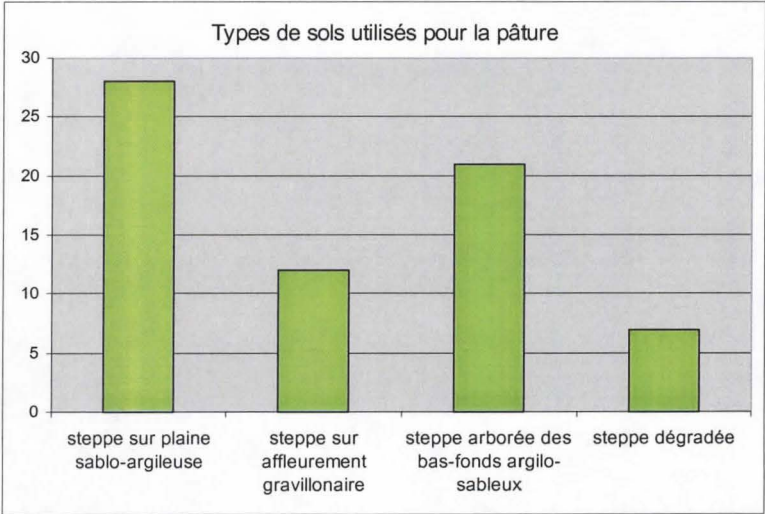




**Figure 8. Densité des troupeaux de nuit (en nombre de troupeaux par km²) sur les différents types d'occupation du sol.**

Les profils de variation sont assez similaires d'une saison à l'autre et d'une espèce à l'autre. les densités de troupeaux de nuit sont plus faibles en saison sèche, ce qui confirme l'estimation globale du nombre de troupeaux présentée au paragraphe précédent. En saison des pluies, les petits ruminants sont majoritairement situés sur les plaines sablo-argileuses et dans les bas-fonds. Ils occupent dans une moindre mesure les steppes sur affleurement gravillonnaire et les steppes dégradées. En saison sèche, on les trouve d'abord dans les bas-fonds, puis sur les plaines sablo-argileuses et les affleurement gravillonnaires. Les bovins semblent répartis de manière un peu plus homogène, sur les plaines sablo-argileuses, dans les bas-fonds et sur les affleurements gravillonnaires. Ils utilisent très peu les steppes dégradées, quelle que soit la saison. Enfin, les parcs de nuit des bovins et des petits ruminants ne sont installés sur les zones de culture que pendant la saison sèche.

Afin d'explicitier ces résultats, la répartition des pâturages utilisés par les troupeaux sur les types d'occupation du sol a également été



**Figure 9. Répartition des pâturages sur les types d'occupation du sol**



représentée (Figure 9). La tendance observée à la figure 8 se retrouve ici, avec une nette prédominance des plaines sablo-argileuses et des bas-fonds. Cependant, on observe ici une utilisation non négligeable des steppes dégradées.

**3.3.2- Répartition par rapport aux ressources: l'eau et le pâturage**

La simple projection des campements, des parcs et des ressources apporte des renseignements sur le fonctionnement du système. Sur la carte présentée en annexe 5, correspondant au mois d'octobre 2001, on observe que les campements sont localisés à proximité à la fois des pâturages et du réseau hydrographique ou des mares temporaires. Les campements sont généralement séparés les uns des autres de 500 mètres au moins et les parcs de nuit sont regroupés autour des campements.

La disponibilité et la proximité des ressources étant donc supposées être des facteurs déterminant la répartition des éleveurs et de leur bétail dans l'espace, les distances entre les parcs de nuit et ces dernières ont été calculées et analysées (Figure 10).

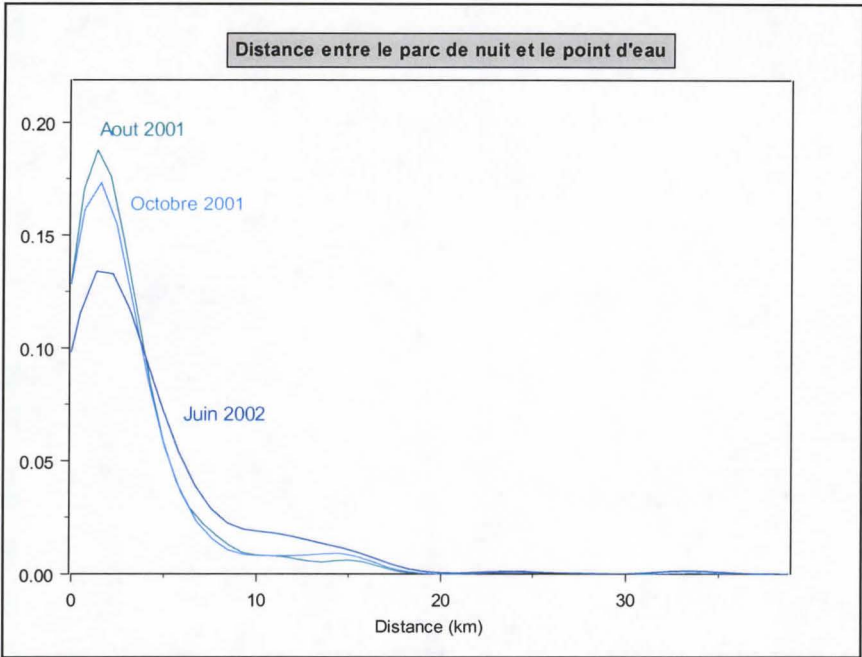
	Période	Min.	Moyenne	Max.	N	Ecart-type
DISTANCE AU POINT D'EAU (KM) <i>Mesurée</i>	Août 2001	0.13	2.9	27.8	970	3.3
	Octobre 2001	0.10	2.9	33.4	924	3.7
	Juin 2002	0.14	4.1	33.7	521	4.7
DISTANCE AU PATURAGE (KM) <i>A dire d'éleveur</i>	Août 2001	1.00	2.9	7.0	970	0.8
	Octobre 2001	2.00	3.3	6.0	924	0.7
	Juin 2002	1.00	5.8	14.0	521	2.8

**Figure 10. Caractéristiques des distances parc/point d'eau et parc/pâturage**

Le test de comparaison des moyennes entre les différentes périodes montre que:

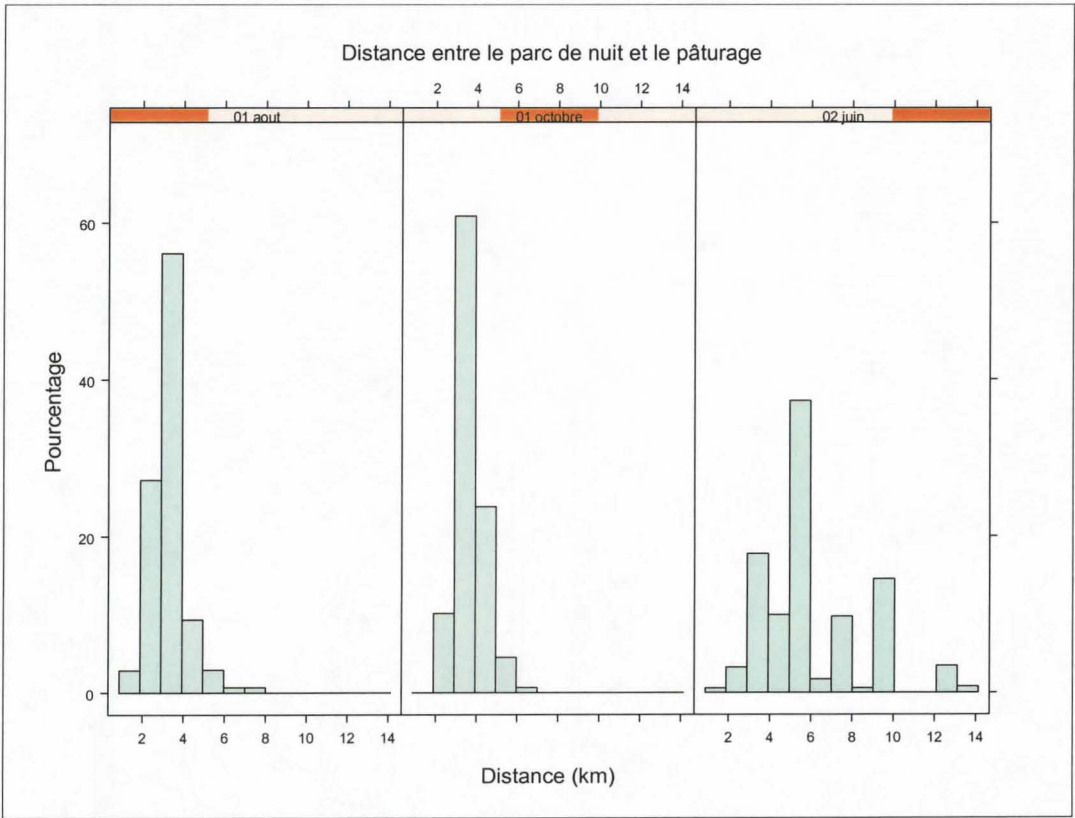
- la distance moyenne parc/point d'eau en saison sèche (juin 2002) est significativement supérieure à la distance en saison des pluies (août et octobre 2001)
- la distance moyenne parc/pâturage en juin est significativement supérieure à la distance en octobre, elle-même significativement supérieure à la distance en juillet.

La distance entre le parc et le point d'eau ayant été mesurée dans le SIG, il s'agit d'une variable continue. Le graphique présenté à la figure 11 donne les courbes de densité de probabilité (p.1000) de cette variable, aux trois périodes d'enquête.



**Figure 11. Courbes des densités de probabilité des distances parc de nuit / point d'eau.**

Les courbes aux trois périodes ont des allures similaires, avec un pic assez étroit autour de la moyenne et un replat à droite de la courbe. La majorité des parcs sont situés à une distance inférieure à 8 km du point d'eau utilisé; un petit nombre de parcs sont à une distance plus grande, comprise entre 10 et 16 km. On constate également un étalement de la courbe vers les valeurs supérieures au mois de juin 2002.



**Figure 12. Histogramme des distances parc de nuit / pâturage.**



La variable "distance parc/pâturage" étant une approximation à dire d'éleveur, les valeurs sont toujours des nombres allant de 0.5 en 0.5. Il s'agit donc d'une variable catégorisée, dont l'histogramme donne une bonne représentation. Aux mois d'août et d'octobre-novembre 2001 (graphiques à gauche et au centre), la répartition des distances parc / pâturage est similaire, avec la grande majorité des observations comprises dans un intervalle de 2 à 6 km. On observe toutefois quelques rares valeurs extrêmes, entre 10 et 14 km et un léger accroissement des effectifs pour les valeurs supérieures à 4 km en octobre-novembre est à relever. En saison sèche (graphique de droite), l'histogramme est nettement étalé vers la droite, le pourcentage d'observations augmentant pour les distances supérieures à 6 km.

### **3.3.3- Origine des troupeaux transhumant à Barkédji:**

Les cartes décrivant les mouvements de transhumance vers la communauté rurale de Barkédji aux différentes périodes de l'année sont présentées en annexe 6. La densité de points dans chaque communauté rurale est proportionnelle au nombre de troupeaux ayant quitté cette zone pour transhumer à Barkédji. L'unité donnant la meilleure représentation est 1 point pour 0.1 troupeau.

Il semble que la majorité des grands transhumants viennent du nord de la région plus méridionale de Tambacounda. Ils s'installent à Barkédji durant toute la saison des pluies. Quelques éleveurs originaires de la région de Diourbel, à l'ouest du Sénégal, transhument également à Barkédji en juillet, août et octobre. Cependant la plupart des mouvements de troupeaux se font à l'intérieur du département de Linguère, à partir des communautés rurales proches de Barkédji. On retrouve bien ici l'afflux maximal de transhumants au mois d'août, qui confirme l'estimation du nombre de troupeaux faite à cette période. La mobilité animale est par contre extrêmement restreinte en saison sèche et se résume à des déplacements de petite envergure soit à l'intérieur même de la communauté rurale de Barkédji, soit à partir des communautés rurales voisines.

L'interprétation de l'image Landsat de Barkédji, l'analyse des données d'enquêtes, ainsi que la synthèse de ces différents éléments dans un SIG relié à la base de données a permis de répondre aux questions initialement posées. Ces résultats "bruts" doivent maintenant être replacés et interprétés dans le contexte du système pastoral puis reliés à la problématique initiale, la modélisation de la FVR.

#### **4- DISCUSSION**

La FVR est une maladie émergente et, à ce titre, les connaissances concernant les modalités de sa transmission et les facteurs favorisant son occurrence restent encore incomplètes. Cependant les travaux réalisés au Sénégal ont permis d'identifier plusieurs espèces de moustiques, en particulier des genres *Aedes* et *Culex*, comme étant des vecteurs de cette maladie. Il est également très vraisemblable que les ruminants domestiques soient les hôtes principaux et jouent, avec les moustiques, un rôle essentiel lors des phases d'amplification du cycle viral (KSIAZEK, JOUAN et al. 1989; WILSON 1994; WILSON, CHAPMAN et al. 1994). En Afrique de l'Est, l'influence du climat et du milieu a également été démontrée et des modèles statistiques de prévision du risque d'occurrence de la FVR ont été réalisés (LINTHICUM, ANYAMBA et al. 1999).

Le travail réalisé dans la communauté rurale de Barkédji sur l'organisation du système pastoral en relation avec le milieu et ses ressources se situe dans une perspective de modélisation du risque d'occurrence de la FVR dans le système des mares temporaires du Ferlo. En effet, le peuplement humain et animal est en grande partie déterminé par la disponibilité des points d'eau et des pâturages. Pour prédire la répartition des ruminants domestiques, sources principales de transmission de la FVR à l'homme, il est nécessaire d'une part de comprendre comment les troupeaux se localisent par rapport au milieu et d'autre part de localiser de façon précise les ressources en eau et en pâturages.

L'interprétation de l'image satellitaire Landsat a permis de décrire la structure de la zone de Barkedji et de cartographier l'occupation des sols, c'est à dire principalement le substrat, les groupements de végétation, les zones de culture, les mares temporaires. La zone présente les deux types de paysages rencontrés dans le Ferlo: les plaines et les dunes sableuses et sablo-argileuses, typiques du "Ferlo sableux", et les affleurements gravillonnaires, typiques du "Ferlo cuirassé". Les plaines sablo-argileuses ainsi que les bas-fonds de la vallée du Ferlo offrent un potentiel fourrager et agricole élevé, exploité par les transhumants affluant en saison des pluies (LAKE, NDOUR et al. 2000). Ainsi, la simple observation de la carte et des types d'occupation du sol donne une idée assez précise de la localisation des troupeaux. La détection des mares temporaires est un autre enjeu majeur de l'utilisation de la télédétection, car l'exploitation des mares est à la fois l'élément central du système pastoral en saison des pluies et le principal facteur de risque pour la transmission de la FVR aux ruminants domestiques.

Cependant le déclenchement d'une épisode de FVR dépend également du nombre de ruminants infectés. L'estimation du nombre de troupeaux sur l'ensemble de la zone montre que la plupart des transhumants s'installent à Barkédji au mois d'août. La charge animale double à cette



période et les troupeaux se répartissent sur l'ensemble de la communauté rurale. Ils s'éloignent des bas-fonds, profitant des mares temporaires pour s'installer à proximité de pâturages moins fréquentés et de meilleure qualité. Dès octobre, les petites mares temporaires s'assèchent, les transhumants commencent à repartir vers leur destination de saison sèche. Les troupeaux se rapprochent de la vallée du Ferlo et des points d'eau encore disponibles. Enfin, en saison sèche, la charge animale est minimale et les troupeaux sont en majorité regroupés autour des forages et des puits. Il semble donc *a priori* que le milieu de saison des pluies soit la période où le risque d'amplification de la FVR est le plus important.

L'étude de la répartition des parcs de nuit par rapport aux types d'occupation du sol et aux ressources du milieu a pour objectif l'identification d'indicateurs de présence du bétail, afin de déterminer les lieux à risque pour la transmission de la FVR. Les résultats obtenus confirment que les plaines sablo-argileuses et les bas-fonds sont les formations les plus exploitées par les éleveurs, à la fois pour les cultures et le pâturage. Les parcs sont plus rarement installés sur les formations gravillonnaires et quasiment jamais sur les steppes dégradées.

La distance par rapport aux ressources exploitées varie selon les périodes de l'année. En ce qui concerne les points d'eau, la distance moyenne augmente de façon significative en saison sèche, ce qui est dû à l'assèchement des mares temporaires. Les alentours des forages et des puits étant surpeuplés et surpâturés, une partie des éleveurs préfère s'éloigner à la recherche de pâturages pour leurs troupeaux, quitte à parcourir 20 ou 30 km pour chercher l'eau au forage (tous les jours ou tous les deux jours quand la distance entre le lieu de séjour et le forage augmente). Inversement, l'installation des campements autour des forages contraint les animaux à parcourir de longs trajets pour se nourrir, ce qui explique l'étalement de l'histogramme des distances parc de nuit / pâturage au mois de juin 2002. En saison des pluies, le remplissage des mares temporaires permet aux éleveurs de s'établir à une distance raisonnable à la fois du point d'eau et des pâturages et donc de gérer les ressources de manière optimale. En revanche la distance minimale relevée entre les parcs de nuit et le point d'eau exploité est d'environ 100 mètres, ce qui laisse supposer que les animaux pourraient être piqués pendant la nuit par les moustiques provenant de la mare. En effet, les relevés entomologiques réalisés à Barkédji au mois de juillet 2002 ont montré que certaines femelles d'*Aedes* pouvaient voler à plus de 400 mètres de leur mare pour se nourrir dans les campements ou les parcs de nuit voisins.

Ces premiers résultats confirment le rôle déterminant du milieu, et en particulier des points d'eau et des pâturages, dans le fonctionnement du système pastoral. L'élaboration d'indicateurs précis de présence du bétail, basés sur la distance par rapport aux ressources, nécessite cependant une étude approfondie des variables "distance parc / mare" et "distance parc / pâturage" et de leur contribution respective aux choix de l'emplacement des campements par les éleveurs. Il semble

en effet que ceux-ci soient plus attentifs à la qualité du pâturage qu'à la proximité du point d'eau. Il serait donc intéressant d'étudier les deux variables conjointement. L'objectif à terme serait de déterminer l'intervalle de distance parc/mare et parc/pâturage dans lequel se trouvent la majorité des troupeaux, en fonction des périodes de l'année.

Il serait alors possible d'établir une cartographie dynamique de la répartition des animaux sur l'ensemble de la zone, à condition de localiser les mares et les pâturages exploités, ce qui pourrait être fait par l'interprétation d'images satellites. Cependant une image Landsat de résolution spatiale grossière ne permet pas de détecter les mares dont la plus grande dimension est inférieure à 90 m (s'étalant sur au moins 3 pixels), ce qui limite son utilisation pour certains aspects de l'étude de la FVR. L'acquisition d'images SPOT 5 de meilleure résolution spatiale (2.5m au mieux) et à différentes périodes de l'année est prévue dans le cadre du projet. Une interprétation plus fine de ces images chroniques, avec en particulier une typologie de la végétation ligneuse et herbacée, montrerait l'évolution des mares temporaires et des pâturages au cours de l'année. D'autres procédés de classification d'image pourraient en outre être testés et donner de meilleurs résultats, comme par exemple les méthodes de classification souple (DESJARDINS 2000).

La méthode d'estimation du nombre de troupeaux dans la zone aux différentes saisons doit également être affinée, car le modèle de Poisson utilisé dans cette étude ne prend pas en compte les phénomènes d'autocorrélation des résidus. Cette autocorrélation pourrait être due à la répétition des mesures sur les mêmes unités géographiques (échantillons) et induire une sous-estimation de la variance et par conséquent, à une surestimation de la précision des densités de troupeaux estimées. Des méthodes plus appropriées (modèle binomial négatif, équations d'estimations généralisées) pourraient s'avérer nécessaires (LIANG et ZEGER 1986; MC CULLAGH et NELDER 1989).

Les facteurs influençant la répartition du bétail doivent être répertoriés et faire l'objet d'enquêtes supplémentaires avec les éleveurs. En effet, même si la distance à la mare et au pâturage constitue un bon indicateur de présence des animaux, de nombreux autres critères doivent être pris en compte, pour expliquer les cas extrêmes observés. Certains éleveurs, par exemple, restent à plusieurs kilomètres de leur point d'eau en saison des pluies, d'autres s'installent en saison sèche dans des zones quasi désertiques, loin des forages et des pâturages. Ces critères peuvent être la perception des contraintes sanitaires liées à certaines mares ou certains pâturages, les contraintes sociales, le poids des traditions, le rôle des réserves sylvo-pastorales ou encore les conflits avec les agriculteurs. Tous ces facteurs doivent être pris en compte si l'on veut comprendre le système dans toute sa complexité et identifier les règles de gestion de l'espace pastoral.



Enfin, l'étude des mouvements de transhumance se limite ici à une approche descriptive. L'importance de ce type mobilité animale pour la transmission de la FVR à l'échelle du pays demande un approfondissement des enquêtes (et le recours éventuel à d'autres techniques de télédétection : balises Argos, par exemple), l'adaptation des systèmes d'information et une analyse des données par des méthode statistiques appropriées.

## **CONCLUSION**

La démarche méthodologique employée souligne la complémentarité entre l'analyse statistique, l'analyse spatiale et l'interprétation d'image. La statistique et les systèmes d'information géographiques ont besoin de données existantes préalables, provenant la plupart du temps de données collectées *in situ*. La télédétection est une des seules sources d'information qui permet d'emmagasinier sur une base temporelle régulière diverses caractéristiques des objets, à différentes échelles. Ces propriétés donnent la pleine mesure du rôle que peut jouer la télédétection dans les projets de recherche en santé humaine et animale et en particulier dans le domaine des maladies à vecteurs. En effet, certains indicateurs de présence des vecteurs (types de mares, de formation végétale,...) et des hôtes (pâturages, parcellaire agricole,...) peuvent être facilement repérés sur une image satellitaire. Les outils actuels permettent en outre d'intégrer une classification d'image sous forme de pixels à la base de données en mode vecteur d'un SIG, puis de la géoréférencer et de superposer ces données à des fins d'analyse et d'interprétation. Ainsi le système d'information géographique, qui rassemble, met à jour et analyse les données multi-sources, constitue-t-il un outil puissant pour la prise de décision dans les projets d'aménagement du territoire et de gestion des ressources. Enfin, le couplage de l'analyse spatiale, des statistiques et des modèles renforce encore ce potentiel en apportant la notion de prévision d'un risque variable dans le temps et dans l'espace.



## **BIBLIOGRAPHIE**

1. ARNAUD, M. (1998). Introduction à l'analyse des données spatiales. Etude exploratoire avec le logiciel Splus. Montpellier, France, CIRAD-TERA.
2. BA, A. et al. (1989). Elevage et potentialités pastorales sahéliennes - Synthèses cartographiques: Sénégal. Dakar/ Paris, CTA, IEMVT.
3. BAKIS, H., BONIN, M. (2000). La photographie aérienne et spatiale. Paris, Que sais-je?.
4. BAUD, P. et al. (1997). Dictionnaire de géographie. Paris, Hatier.
5. BONN, F. (1996). Précis de télédétection. Applications thématiques. Universités francophones., Presses de l'université du Québec.
6. BONN, F., ROCHON, G. (1992). Précis de télédétection. Principes et méthodes., Presses de l'université du Québec.
7. C.C.T. (1998). Notions fondamentales de télédétection.
8. CDC (2000). "Update: Outbreak of Rift Valley Fever, Saudi Arabia, August-November 2000." MMWR **49**: 905-908.
9. COMITAS (1988). Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale. Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection. Paris.
10. DE WISPELAERE, G. (2001). Etude et cartographie de la végétation du parc national du Diawling. Montpellier, France, CIRAD-EMVT.
11. DESJARDINS, R. (2000). La télédétection: perspective analytique. Paris.
12. DIALLO, M. (1995). Dynamique comparée des populations de *Culicidae* à Kédougou (zone soudano-guinéenne) et à Barkédji (zone de savane sahélienne): conséquences dans la transmission des arbovirus. Dakar, Sénégal, Univ. Cheikh Anta Diop.
13. DIALLO, M. (2000). Ecologie et transmission d'arbovirus à vecteurs culicidiens au Sénégal. Dakar, Sénégal, Univ. Cheikh Anta Diop.
14. DIAW, O. T., SEYE, M., et al. (1998). "Diagnostic expérimental (ELISA) de la schistosomose ovine au Sénégal." Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **51**(4): 321-325.
15. DIGOUTTE, J. P., PETERS, C.J. (1989). "General aspects of the 1987 Rift Valley fever epidemic in Mauritania." Res. Virol. **140**: 27-30.
16. ESCOFIER, B., PAGES, J. (1990). Analyses factorielles simples et multiples: objectifs, méthodes et interprétation. Paris.

17. FONTENILLE, D., TRAORE-LAMIZANA, M. et al. (1998). "New vectors of Rift Valley Fever in West Africa." Emerg. Infect. Dis. **4**(2): 289-293.
18. ICKOWICZ, A., DE WISPELAERE, G. et al. (1999). Conséquence pour l'élevage de l'évolution de l'emprise des jachères depuis 1970, sur cinq terroirs de Haute-Casamance (Sénégal). La jachère en Afrique tropicale: rôles, aménagement, alternatives., Dakar, Sénégal.
19. KALUZNY, S. P., VEGA, S.C. et al. (1998). S+ Spatial stats. User's manual for Windows and UNIX. New York.
20. KSIAZEK, T. G., JOUAN, A. et al. (1989). "Rift Valley fever among domestic animals in the recent west african outbreak." Res. Virol. **140**: 67-77.
21. LAKE, L. A., NDOUR N. et al. (2000). Ecographie du Sénégal subsaharien et développement; dynamique des espaces ruraux des années 1950 à 2015. Dakar, Sénégal, Univ. Cheikh Anta Diop, Univ. de Sherbrooke.
22. LE HOUEROU, H. N. (1988). Introduction au Projet Ecosystèmes pastoraux sahéliens. Rome, FAO.
23. LEBART, L., MORINEAU A. et al. (1982). Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes. Paris, BORDAS.
24. LEFEVRE, P. C. (1997). "Actualité de la Fièvre de la Vallée du Rift: quels enseignements tirer des épidémies de 1977 et 1987?" Med. Trop. **57**: 61S-64S.
25. LIANG, K. Y., ZEGER, S.L. (1986). "Longitudinal data analysis using genralized linear models." Biometrika **73**(1): 13-22.
26. LINTHICUM, K. J., ANYAMBA, A. et al. (1999). "Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley Fever epidemics in Kenya." Science **285**: 397-400.
27. MC CULLAGH, P., NELDER, J.A. (1989). Generalized linear models. London, Chapman & Hall.
28. PANTAZIS, D., DONNAY, J. P. (1996). La conception de SIG, méthode et formalisme. Paris.
29. ROBIN, M. (1995). La télédétection: des satellites aux systèmes d'information géographiques. Paris.
30. TRAORE-LAMIZANA, M., FONTENILLE, D. et al. (2001). "Arbovirus surveillance from 1990 to 1995 in the Barkedji area (Ferlo) of Senegal, a possible natural focus of Rift Valley fever virus." J.Med.Entomol. **38**(4): 480-92.



31. VENABLES, W. N., RIPLEY, B.D. (1994). Modern applied statistics with S-Plus. New York, Springer-Verlag.
32. WEICKER, M. (1993). Nomades et sédentaires au Sénégal. Dakar.
33. WILSON, M. L. (1994). "Rift valley fever virus ecology and the epidemiology of disease emergence." Ann. N. Y. Acad. Sci. **740**(169-180).
34. WILSON, M. L., CHAPMAN, L.E. et al. (1994). "Rift Valley fever in rural northern Senegal: human risk factors and potential vectors." Am. J. Trop. Med. Hyg. **50**(6): 663-675.
35. ZELLER, H. G., FONTENILLE, D. et al. (1997). "Enzootic activity of Rift Valley fever virus in Senegal." Am. J. Trop. Med. Hyg. **56**(3): 265-72.

**Annexe 1: Protocoles d'enquêtes**

**Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD**  
**Fiche Lieu de Résidence**

**Date de l'enquête :** \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**Nom du lieu de résidence :** \_\_\_\_\_

**Code GPS :** \_\_\_\_\_

**Localisation géographique:**

Latitude Nord : \_\_\_\_ ° \_\_\_\_ ' \_\_\_\_ " : \_\_\_\_  
Longitude Ouest: \_\_\_\_ ° \_\_\_\_ ' \_\_\_\_ " . \_\_\_\_

**Code Échantillon spatial :** \_\_\_\_\_

**Distance au centre (km) :** \_\_\_\_\_

**Population humaine:**

Nombre de concessions: \_\_\_\_\_  
Nombre d'habitants: \_\_\_\_\_

**Population animale:**

Nombre de troupeaux de bovins: \_\_\_\_\_  
Nombre de troupeaux de petits ruminants: \_\_\_\_\_



Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD

Fiche Troupeau

Identification

Nom de l'éleveur : \_\_\_\_\_

Ethnie : \_\_\_\_\_

Code GPS du lieu de résidence : \_\_\_\_\_

Code Échantillon spatial : \_\_\_\_\_

Troupeau enquêté : \_\_\_\_\_

Bovin / Petits ruminants

Mobilité du troupeau (mouvements de transhumance)

Présence sur le lieu d'enquête : Permanente (sédentaire) / Temporaire (transhumant)

Date d'arrivée : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ (si transhumance)

Lieu d'origine : \_\_\_\_\_

Nom du lieu : \_\_\_\_\_ Code lieu (si dans zone d'enquête) : \_\_\_\_\_

Communauté rurale : \_\_\_\_\_ Département : \_\_\_\_\_

Exploitation du milieu par le troupeau enquêté

Position géographique du parc de nuit:    Latitude Nord :    \_\_\_\_ ° \_\_\_\_ ' \_\_\_\_ " : \_\_\_\_

Longitude Ouest:    \_\_\_\_ ° \_\_\_\_ ' \_\_\_\_ " : \_\_\_\_

Points d'eau utilisés par ce troupeau:

	Nom	Code	Type <sup>1</sup>	Localisation		Période	
				Latitude Nord	Longitude Ouest	arrivée	départ
1				____ ° ____ ' ____ " : ____	____ ° ____ ' ____ " : ____		
2				____ ° ____ ' ____ " : ____	____ ° ____ ' ____ " : ____		
3				____ ° ____ ' ____ " : ____	____ ° ____ ' ____ " : ____		
4				____ ° ____ ' ____ " : ____	____ ° ____ ' ____ " : ____		
5				____ ° ____ ' ____ " : ____	____ ° ____ ' ____ " : ____		

<sup>1</sup> Puits, mare, forage ou céane

Distance maximale des pâturages exploités par ce troupeau (km) : \_\_\_\_\_

**Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD**  
**Fiche Pâturages**

**Identification**

**Nom:** \_\_\_\_\_ **Date:** \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ **Code:** \_\_\_\_\_

**Localisation géographique:** Latitude Nord: \_\_\_\_ ° \_\_\_\_ ' \_\_\_\_ " : \_\_\_\_  
 Longitude Ouest: \_\_\_\_ ° \_\_\_\_ ' \_\_\_\_ " . \_\_\_\_

**Code Échantillon spatial :** \_\_\_\_\_

**Topographie**

- ☐ dune
- ☐ inter dune
- ☐ terrain plat
- ☐ bas-fond
- ☐ haut de pente
- ☐ replat
- ☐ bas pente
- ☐ mi-pente
- ☐ butte de cuirasse
- ☐ .....

**Substrat**

- ☐ argilo-sableux ou *baljol*
- ☐ sablo-argileux
- ☐ sableux ou *seeno*
- ☐ gravillonnaire ou *sangré*
- ☐ cuirassé ou *sangré*
- ☐ .....

**Anthropisation**

- ☐ emprise agricole importante
- ☐ emprise agricole faible
- ☐ traces de feux de brousse
- ☐ ébranchage
- ☐ proximité d'une implantation humaine

**Pression pastorale**

- ☐ faible
- ☐ moyenne
- ☐ importante

**Etat apparent de la végétation**

**Type de végétation :**

	herbacé e	arbustiv e	Arboré e	boisé e	claire	dense
Steppe						
Savan e						
Forêt						

**Type de formation :**

**Formation ligneuse**

	LH	LB
Fermé		
Assez ouvert		
Ouvert		
Très ouvert		

LH = ligneux hauts (>2m)  
 LB = ligneux bas (<2m)



### Formation herbacée

1<sup>ère</sup> Espèce herbacée dominante : \_\_\_\_\_

2<sup>ème</sup> Espèce herbacée dominante : \_\_\_\_\_

### Formation arbustive

1<sup>ère</sup> Espèce arbustive dominante : \_\_\_\_\_

2<sup>ème</sup> Espèce arbustive dominante : \_\_\_\_\_

### Analyse phyto-sociologique :

	Espèce		
	Nom de l'espèce	Strate	Côte A-D
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
Strate I	0 - 5 cm	<b>*Cote d'Abondance Dominance</b>  5 = recouvrement supérieur à 75%, abondance quelconque 4 = recouvrement de 50 à 75%, abondance quelconque 3 = recouvrement de 25 à 50%, abondance quelconque 2 = très abondant ou recouvrement supérieur à 5% 1 = abondant et recouvrement faible ou assez abondant avec un plus grand recouvrement 0 = simplement présent (recouvrement et abondance très faible)	
Strate II	5 - 25 cm		
Strate III	25 - 50 cm		
Strate IV	50 - 1 m		
Strate V	1 - 2 m		
Strate VI	2 - 4 m		
Strate VII	4 - 8 m		
Strate VIII	8 - 16 m		
Strate IX	16 - 32 m		
Strate X	32 m et plus		

Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD

Fiche Mares

Identification de la mare

Date d'enquête : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Nom de la mare: \_\_\_\_\_

Code de la mare :

Localisation géographique:

Latitude Nord: \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ " . \_\_\_\_\_  
Longitude Ouest: \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ " . \_\_\_\_\_

Code Échantillon spatial : \_\_\_\_\_

Type sol : sableux / sablo-argileux / argileux

Caractéristiques de la mare

Présence d'eau libre:            O / N

Si existence d'eau libre, surface (m²): \_\_\_\_\_    Outil de mesure: GPS / Décamètre

Code polygone SIG	M	Année	Mois	jour	Code mare
		01			

Hauteur d'eau lue à l'échelle limnimétrique :            m

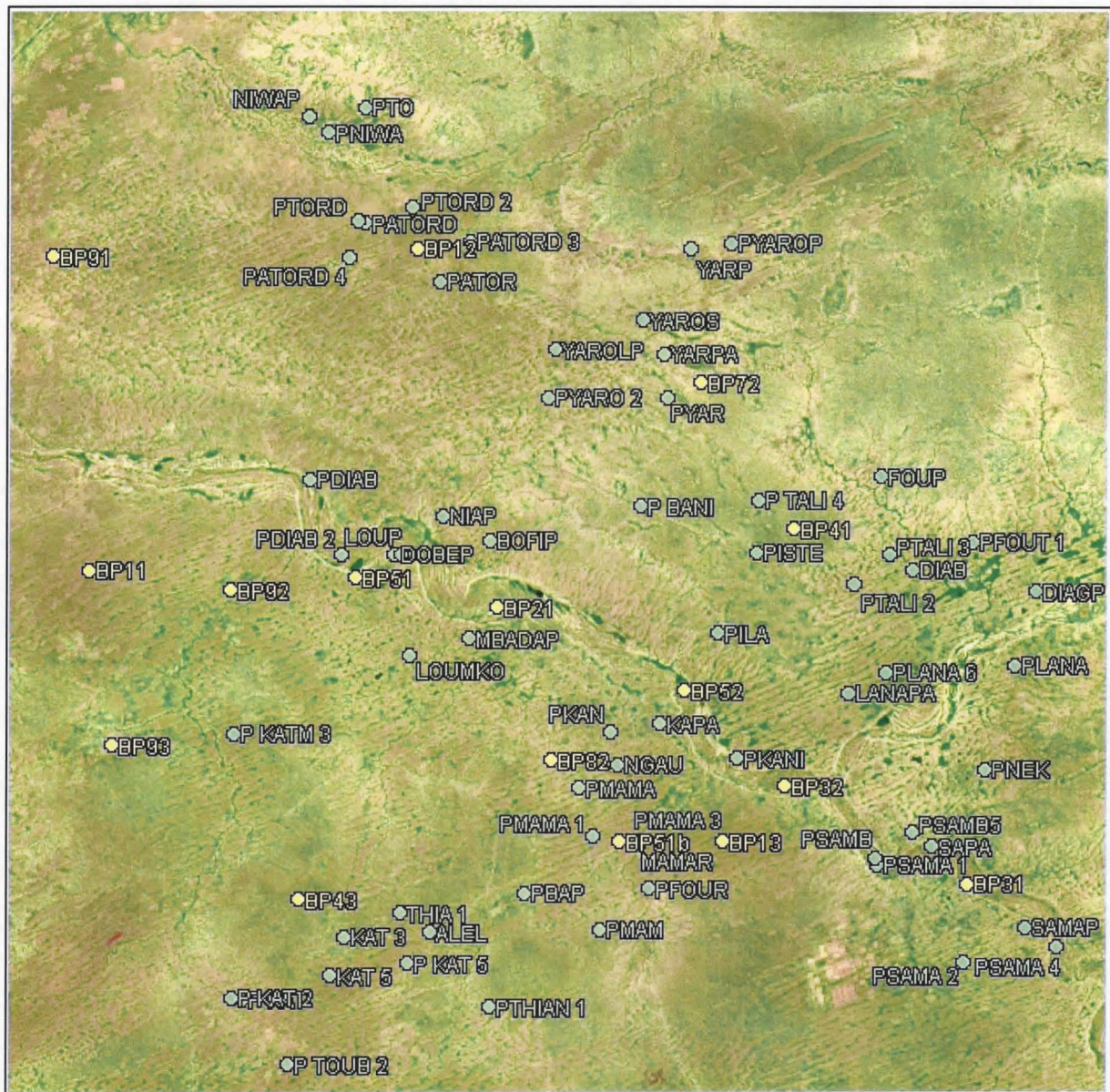
Analyse phytosociologique :

	Espèce		
	Nom de l'espèce	Strate*	Côte A-D*
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

\* se reporter à la fiche pâturage pour les cotes



## Annexe 2: Localisation des sites d'observation



### Position des sites d'observation

- Relevés de juillet à octobre 2001
- Relevés de décembre 2001



### Annexe 3: Tableau des relevés phytosociologiques

	Combretum glutinosum	Guiera senegalensis	Sclerocarya birrea	Acacia raddiana	Balanites aegyptiaca	Acacia seyal	Pterocarpus lucens	Adansonia digitata	Boscia senegalensis	Acacia senegal	Anogeissus leiocarpus	Commiphora africana	Grewia bicolor	Sterculia setigera
Relevés Décembre 2001 (A. Diouf, I. Touré)														
BP11	2	3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
BP12	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
BP13	2	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BP21	3	0	1	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0
BP31	0	0	0	0	3	1	1	1	0	2	0	1	0	0
BP32	0	1	2	0	2	0	0	0	1	1	0	1	1	0
BP41	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0
BP43	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
BP51	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
BP51b	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
BP52	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
BP72	2	3	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
BP82	1	3	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
BP91	2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
BP92	1	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BP93	2	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0
Relevés Juillet-Aout-Octobre 2001 (N. Sow)														
ALEL	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BOFIP	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIAB	4	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
DIAGP	3	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
DOBEP	0	0	0	0	4	0	3	1	0	0	0	0	0	0
FOUP	0	0	0	0	4	3	0	0	2	0	0	0	0	0
KAPA	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KAT 3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KAT 5	3	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LANAPA	4	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOUMKO	0	0	0	3	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
LOUP	0	0	0	3	4	0	0	0	0	0	3	0	0	0
MAMAR	4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBADAP	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NGAU	3	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NIAP	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	1	0	0	0
NIWAP	0	0	0	0	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0
P BANI	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3
P KAT	2	4	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P KAT 2	0	4	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
P KAT 5	3	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	4	0
P KATM 3	0	2	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P TALI 4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2
P TOUB 2	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PATOR	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PATORD	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



PATORD 3	4	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0
PATORD 4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PBAP	4	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PDIAB	3	0	0	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
PDIAB 2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFOUR	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFOUT 1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0
PILA	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PISTE	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	0
PKAN	0	2	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PKANI	3	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLANA	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLANA 6	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMAM	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0
PMAMA	1	4	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMAMA 1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMAMA 3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PNEK	1	0	3	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0
PNIWA	0	0	0	0	4	3	4	0	0	0	0	0	0	0
PSAMA 1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSAMA 2	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSAMA 4	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSAMB	4	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSAMB5	0	0	0	3	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0
PTALI 2	2	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PTALI 3	3	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PTALI 4	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
PTHIAN 1	0	4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0
PTO	0	0	0	0	4	3	0	2	2	0	0	0	0	0
PTORD	3	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PTORD 2	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PYAR	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0
PYARO 2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PYAROP	3	3	0	0	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0
SAMAP	3	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAPA	0	0	2	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0
THIA 1	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
YAROLP	3	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
YAROP	3	4	3	0	2	0	3	0	0	0	0	4	0	0
YAROS	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
YARP	2	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
YARPA	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0

Rq- Les variables numériques sont des indicateurs d'abondance.

## **Annexe 4: Calcul des densités de troupeaux pour la stratification de la zone**

```
module(spatial)
names(campj) <- casefold(names(campj))

#Réplication des lignes de la table avec Nb lignes = Nb de troupeaux#
deplie <- function(data) {
  List <- lapply(1:nrow(data), function(x, data){
    n <- data$nbbov[x] + data$nbpr[x]
    mat <- matrix(rep(c(data$long[x], data$lat[x]), n), nrow = n, ncol = 2, byrow
    = T)
    mat
  }, data)
  do.call("rbind", List)
}

Data <- deplie(data = campj)
dim(Data)
sum(campj$nbbov + campj$nbpr)

#sélection des points contenus dans la zone d'enquête: un cercle de 20 km de rayon
centré sur Barkedji#

bark <- c(long = barkedji$Longitude[1], lat = barkedji$Latitude[1])
x <- seq(-1, 1, length = 100)
y <- sqrt(1 - x^2)
X <- c(x, rev(x)[-1])
Y <- c(y, rev(-y)[-1])

X <- bark["long"] + (25 / 107.31) * X
Y <- bark["lat"] + (25 / 111.29) * Y
scaled.plot(X, Y, type = "l")

cond <- points.in.poly(x = Data[,1], y = Data[,2], polygon = list(x = X, y = Y))
points(Data[cond, 1], Data[cond, 2], col = 2)

Data.spp <- spp(x = Data[cond,1], y = Data[cond,2], boundary = list(x = X, y = Y))
summary(Data.spp)

graphics.off()

#Calcul des densités de troupeaux par la méthode de Kernel#
Data.kern <- intensity(Data.spp, method="kernel", bw = 0.05,
  nx = 40, ny = 40, edge = T, boundary = list(x = c(-15.1, -14.64), y = c(15.05,
  15.5)))
image(Data.kern)
graphics.off()

#Passage en courbes de niveaux de densité#
par(pty = "s")
contour(x = Data.kern$x, y = Data.kern$y, z = Data.kern$z / (107.31 * 111.29))
x <- seq(-1, 1, length = 100)
y <- sqrt(1 - x^2)
X <- c(x, rev(x)[-1])
Y <- c(y, rev(-y)[-1])
lines(x = bark["long"] + (20 / 107.31) * X, y = bark["lat"] + (20 / 111.29) * Y)

#Définition du seuil choisi: 0.4 troupeaux/km²#
Data.cont <- contour(x = Data.kern$x, y = Data.kern$y, z = Data.kern$z / (107.31 *
  111.29),
  nlevels = 2, levels = c(0, 0.4, 10), save = T, plotit = T)

ConToPoly <- function(x){
  X <- x[[2]][[1]]
  Y <- x[[2]][[2]]
  Cut <- seq(along = X)[is.na(X)]
  List <- list()
```



```

bi <- 1
for(i in seq(along = Cut)){
  df <- data.frame(
    zone = rep(i, length(bi:(Cut[i] - 1))),
    longitude = X[bi:(Cut[i] - 1)],
    latitude = Y[bi:(Cut[i] - 1)])
  if(any(df[1, 2:3] != df[nrow(df), 2:3]))
    df <- rbind(df, df[1, , drop = F])
  List[[i]] <- df
  bi <- Cut[i] + 1
}
do.call("rbind", List)
}

```

```

#Conversion en polygones exportables#
Data.poly <- ConToPoly(Data.cont)

```

```

module(spatial)

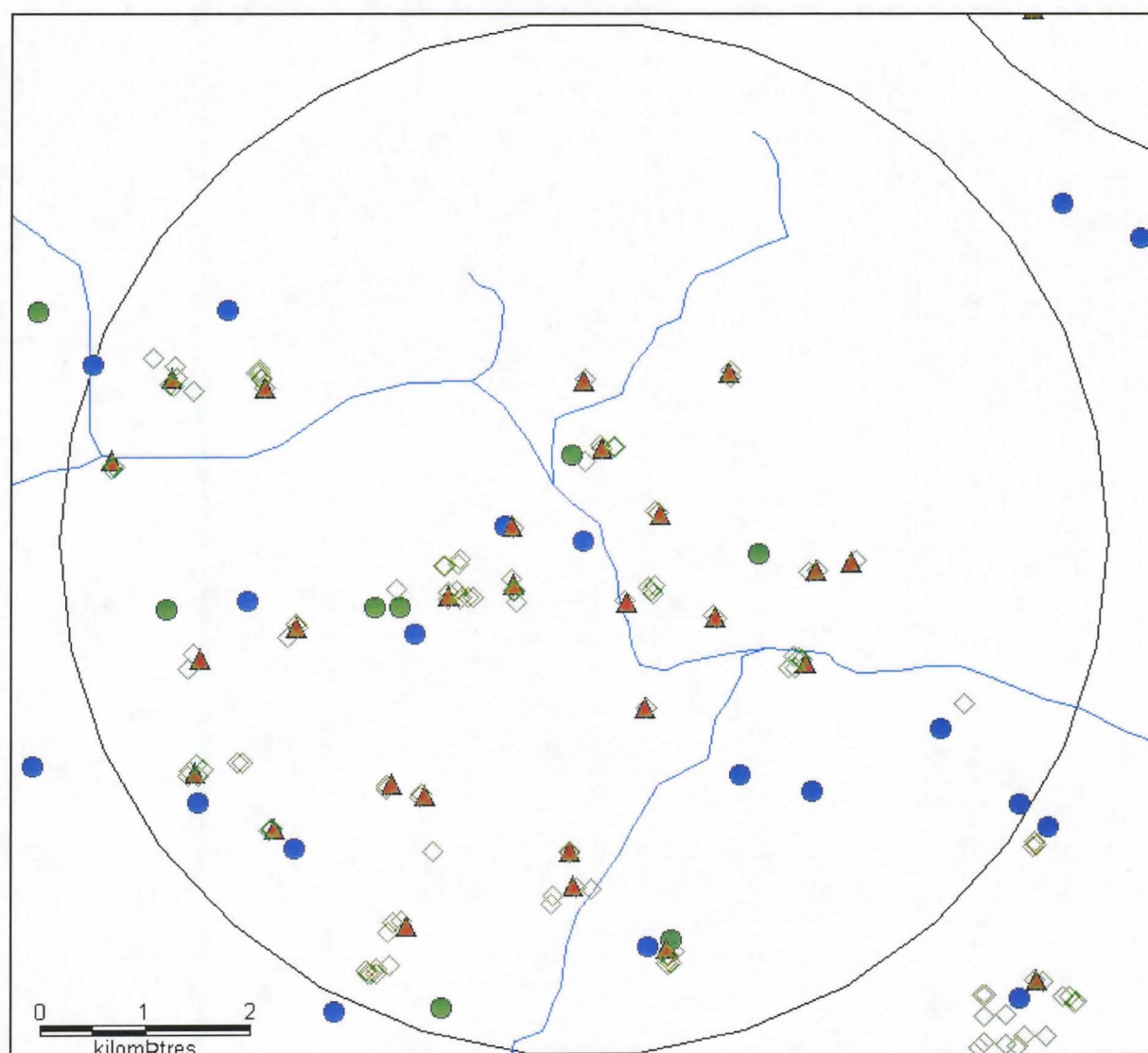
```

```

attach(Data.poly)
scaled.plot(longitude, latitude, type = "n")
for(i in unique(zone))
  lines(longitude[zone == i], latitude[zone == i])
detach()

```

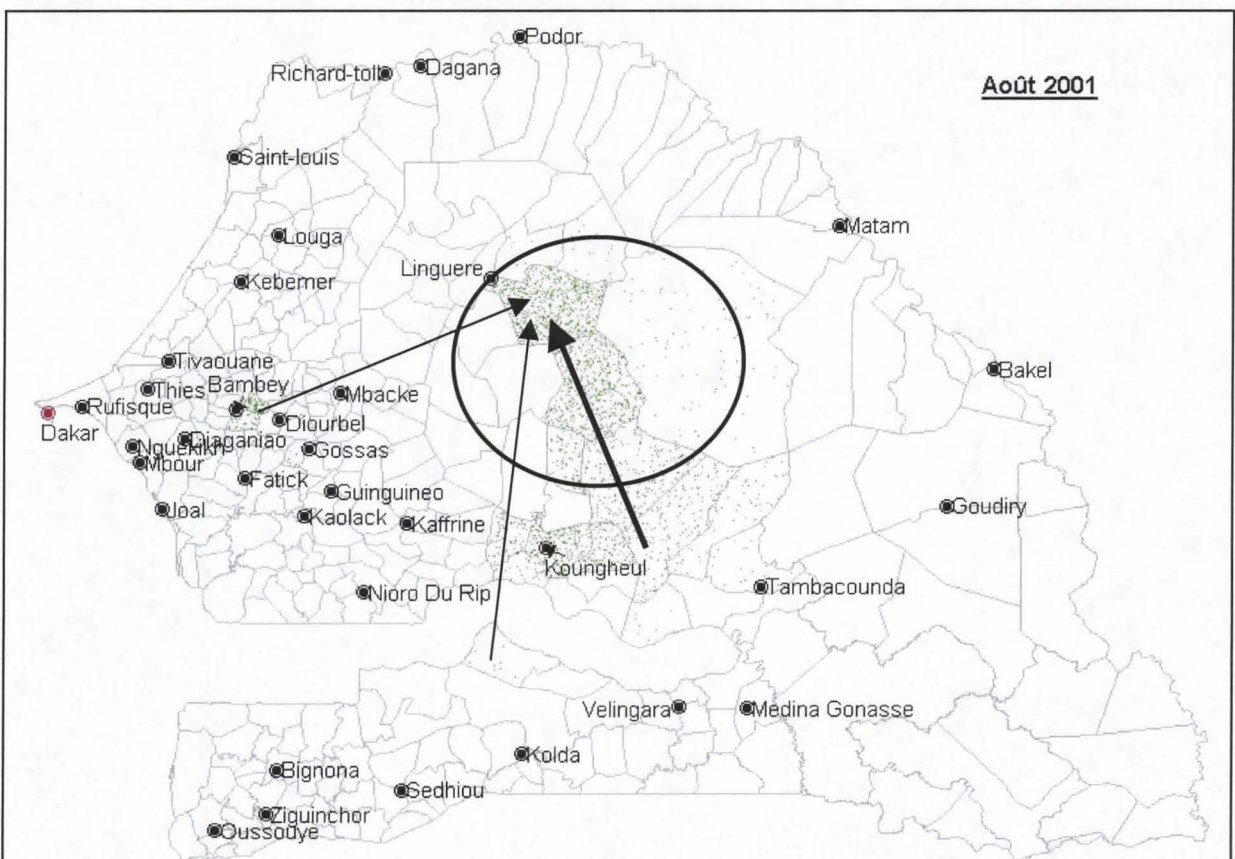
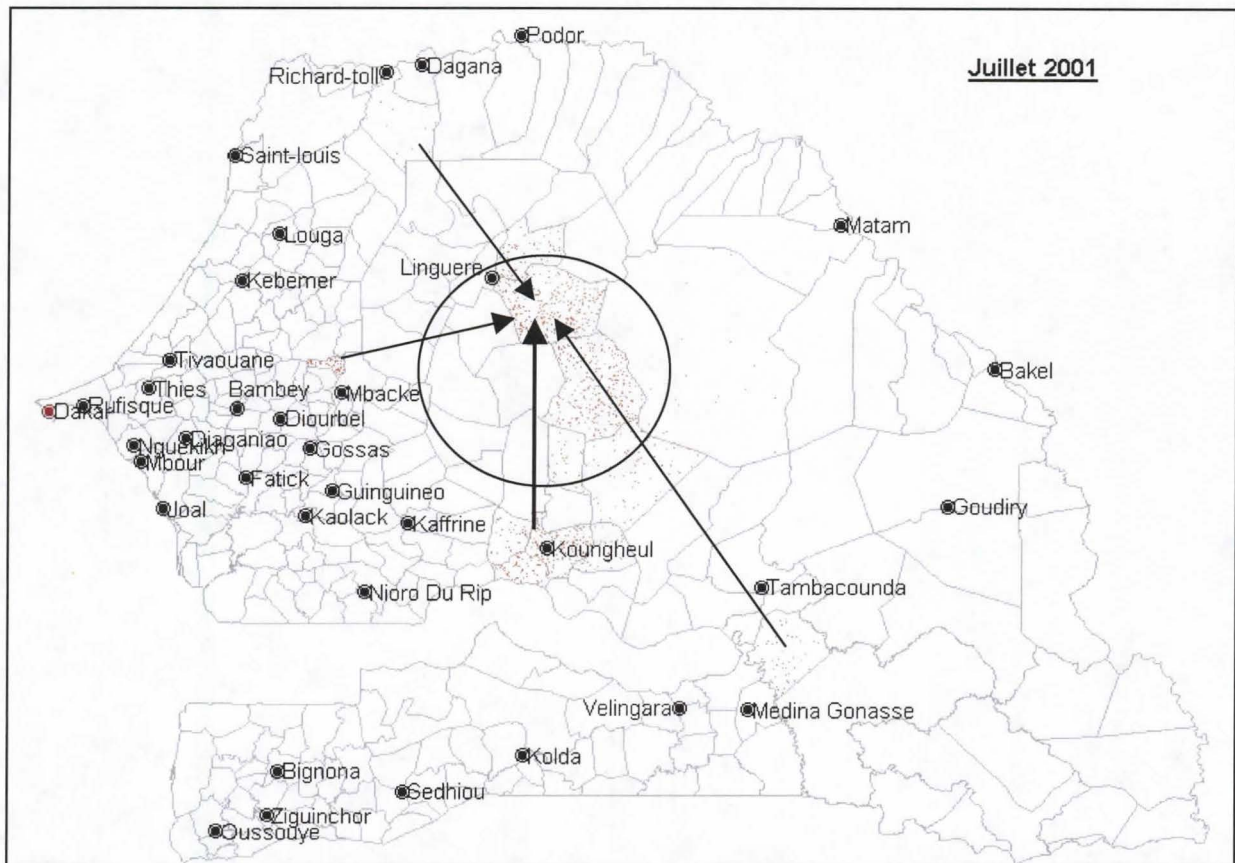
**Annexe 5: Exemple de répartition des campements, des troupeaux de nuit et des ressources exploitées: l'échantillon NIAKAP en octobre 2001**

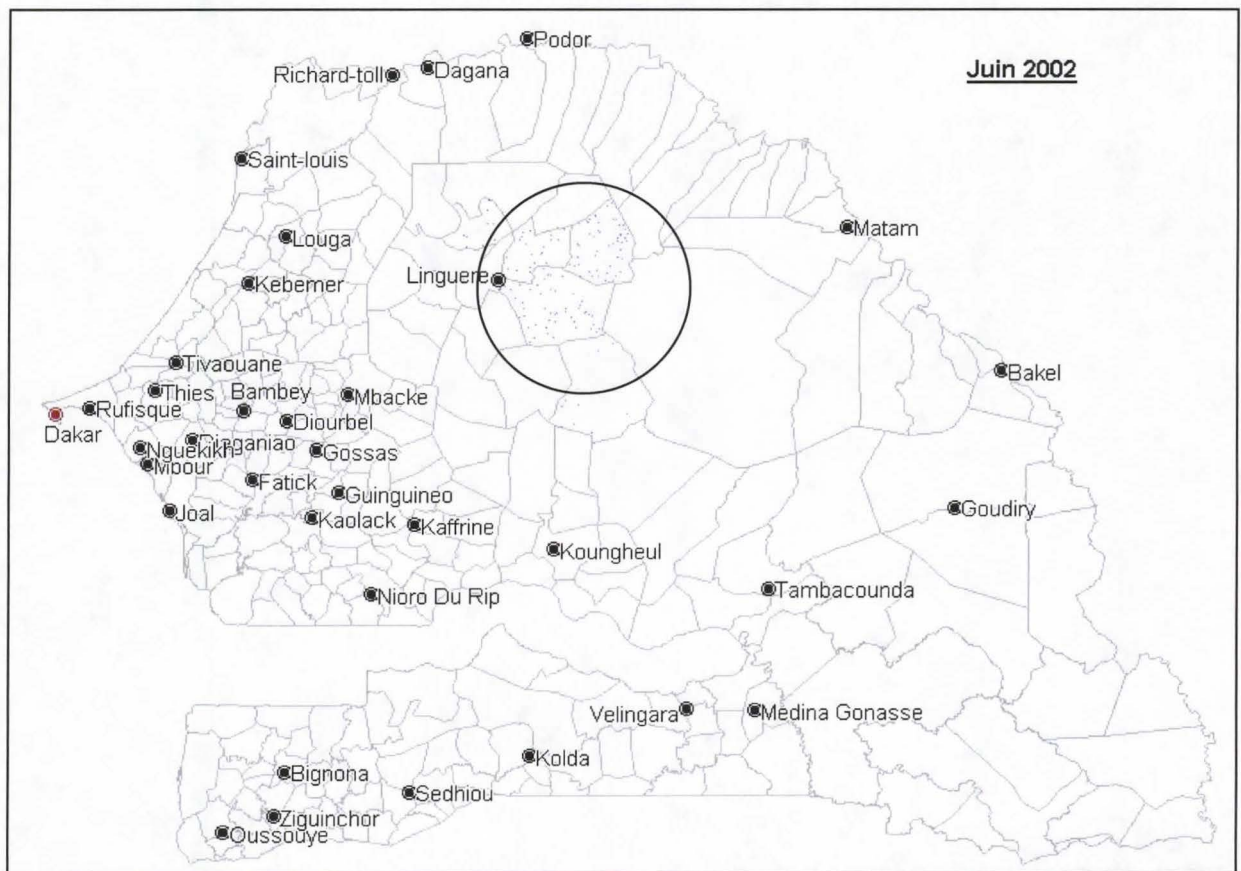
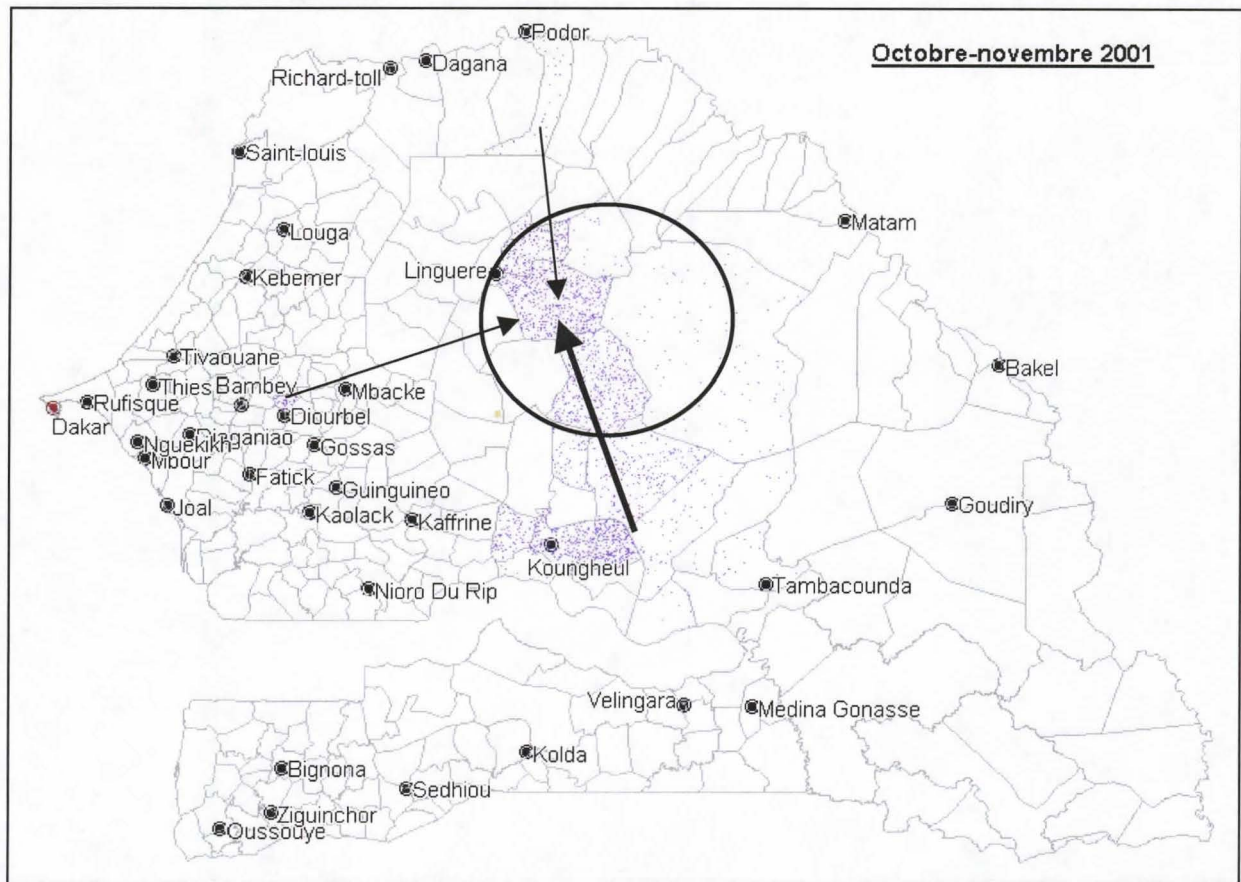


- ▲ Campement
- ◇ Parc de nuit de bovins
- ◇ Parc de nuit de petits ruminants
- Mare exploitée
- Pâturage exploité
- Cours d'eau temporaire



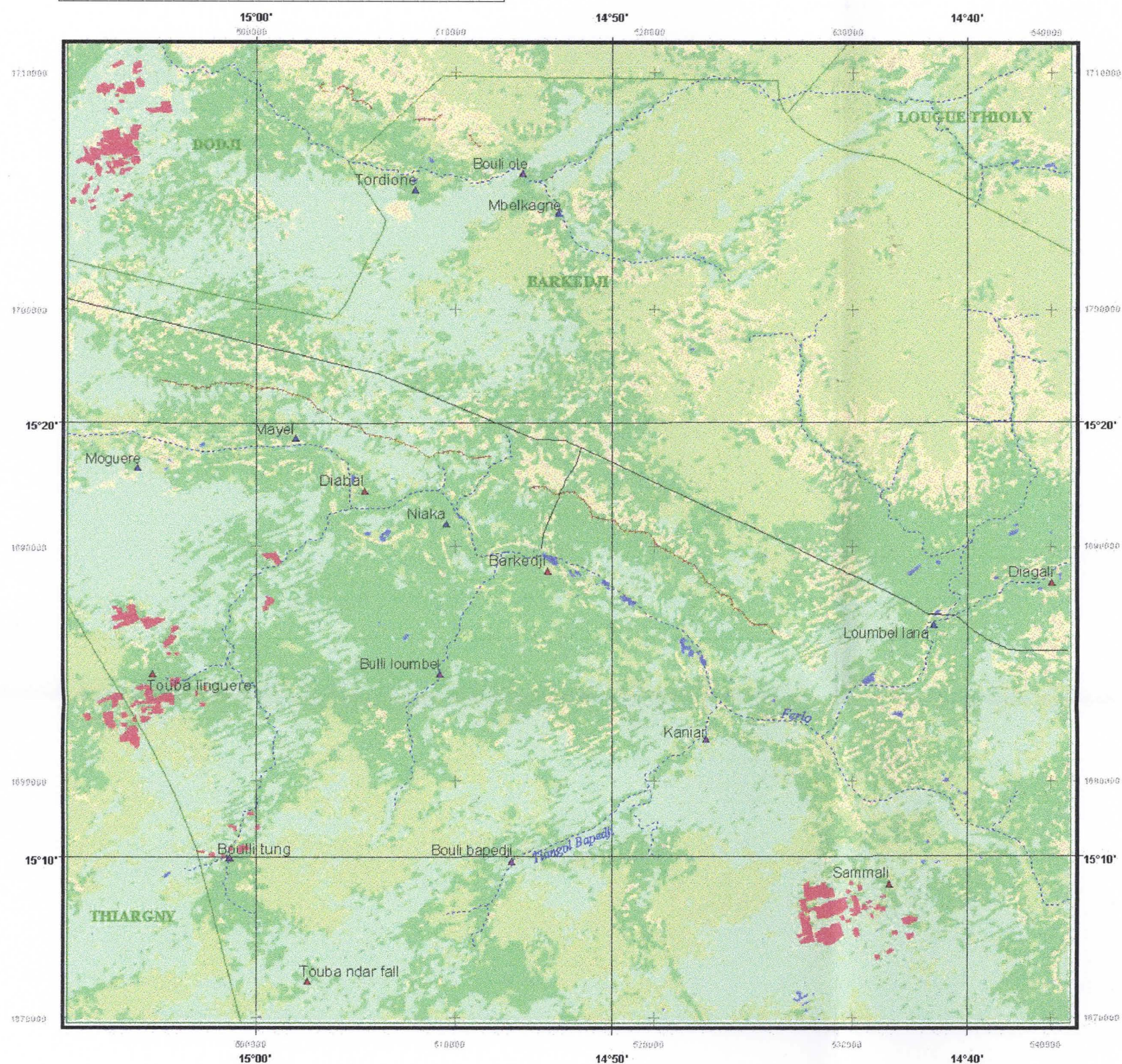
**Annexe 6: Origine des troupeaux transhumant à Barkédji aux différentes périodes**  
**(1 point correspond à 0.1 troupeau)**







# CARTE D'OCCUPATION DU SOL DE BARKEDJI



## LEGENDE

- Piste carrossable
- Escarpement
- Limite de communauté rurale
- - - Cours d'eau temporaire

### Points d'eau permanents

- ▲ Forage
- ▲ Puits
- ▲ Césaire

### Classes d'occupation du sol

- Steppe arbustive dégradée sur plaine sablo-argileuse
- Steppe arbustive sur plaine sablo-argileuse à *Balanites aegyptiaca*, *Grewia senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Sclerocarya birrea*
- Steppe arbustive sur plateau gravillonnaire à *Pterocarpus lucens*, *Stemodia setigera*, *Commiphora africana*, *Grewia bicolor*
- Steppe arborée des bas-fonds argilo-sableux à *Balanites aegyptiaca*, *Acacia seyal*, *Adansonia digitata*
- Zones cultivées ou en jachère
- Mars en eau

Echelle 1:87500

0 2 4 6 Kilometers

Référentiel: WGS84: Projection UTM 28 N

Source: Image Landsat ETM7: 204-049 et 204-050 du 13/11/1999

Carte dressée par R. Pin et I. Touré (CIRAD-EMVT)

Enquêtes sur le terrain:  
Juill-Oct. 2001 - N. Sow  
Déc. 2001 - A. Diouf, I. Touré